

Fernando Manuel Barata Antunes Esteves

**Estudo e Concepção de um Sistema de Medição de  
Caudal de Gás - Gasómetro**

Lisboa

2009



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

**Estudo e Concepção de um Sistema de Medição de  
Caudal de Gás - Gasómetro**

Fernando Manuel Barata Antunes Esteves

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins (FCT/UNL, DEMI)  
Co-orientadora: Dr<sup>a</sup> Elsa Maria Isqueiro Batista (LCM/IPQ)

Lisboa  
2009







## **Agradecimentos**

Será quase impossível mencionar todas as pessoas que foram importantes para a elaboração e desenvolvimento deste trabalho e numa nota de retrospectiva das inúmeras dificuldades passadas, é devido fazer o agradecimento a todos os Professores e instituições que contribuíram na minha formação. Em especial à instituição académica que me acolheu a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa na contribuição da minha formação académica e pessoal.

Agradeço à Dr<sup>a</sup> Elsa Batista do IPQ pela sua disponibilidade e orientação dada no seguimento das directrizes essenciais à execução deste trabalho.

Ao Professor Rui Fernando Martins do DEMI pela a orientação incansável, conselho e visão que sempre ofereceu.

Ao Professor José Fernando Dias do DEMI pela atenção e apoio que sempre disponibilizou.

Ao colega, amigo e Professor Alberto Martinho do DEMI pela motivação, companheirismo, incentivo, conversas construtivas e bom humor que me presenteou.

À minha esposa e filhos, uma palavra de carinho e admiração pela ausência, paciência e por vezes algum humor menos conseguido da minha parte.





## **Dedicatória**

**À minha família e à saudade dos meus pais**



## **Resumo**

Para fazer face às exigências legais e de cariz económico, a presente tese apresenta a concepção e desenvolvimento de um padrão primário de medição de caudal e volume de gás, que permita a rastreabilidade da calibração de equipamentos no Laboratório Central de Metrologia do Instituto Português da Qualidade. Mais propriamente, o modelo específico que é conhecido como gasómetro e pretende-se fazer a integração deste equipamento como padrão Nacional no Sistema Português da Qualidade.

Os equipamentos a calibrar têm uma presença muito relevante no sector energético do consumo de combustíveis, tanto na aplicação doméstica como industrial. São exemplos: os contadores volumétricos de paredes deformáveis ou os caudalímetros ultrasónicos.

Na tese são abordados assuntos como a concepção do modelo, o projecto e o desenvolvimento do modelo conceptual, a especificação de características para diversos componentes a utilizar, o cálculo da incerteza expectável associada ao funcionamento do Padrão e, por fim, é apresentada a metodologia de operação do sistema desenvolvido.

O caudal de gás, gerado pelo gasómetro e transaccionado nos contadores, é determinado pela temperatura, pressão, volume e duração do ensaio. As técnicas de ensaio utilizadas para a calibração são descritas, assim como é apresentada a análise da incerteza associada às calibrações efectuadas. O controlo do processo faz-se por intermédio de um aplicativo para aquisição de dados que foi desenvolvido durante a elaboração da dissertação.

**Palavras-chave:** calibração, incerteza, caudal, contador, volume de gás padrão, gasómetro, rastreabilidade.



## **Abstract**

To meet legal and economic demands, this thesis provides the design and development of a primary standard that should ensure traceability and calibration of gas flow and volume measuring devices at the Central Laboratory of Metrology of the Portuguese Institute for Quality. More specifically, the device called Bell Prover is intended to integrate this equipment as National Standard in the Portuguese System for Quality.

These devices have profuse use on energy market, both in domestic and in industrial applications. Common measuring devices are the residential diaphragm gas meter or the ultrasonic flowmeters among others.

In the thesis, are discussed issues such as the design and development of the Bell Prover conceptual model, the specification of characteristics for different components to be used, the calculation of the expected uncertainty associated with the operation of the primary standard. Finally, the operational methodology is presented.

The flow rate of gas generated by the Bell Prover passing through the meter under test is determined from temperature, pressure, volume and transit time measurements. The calibration techniques are described, as well as the analysis and presentation of uncertainty associated with these calibrations. The control process is done through a data acquisition application developed during the period of the elaboration of the dissertation.

**Keywords:** calibration, uncertainty, flow, flowmeter, gas flow standard, bell prover, traceability.



## SIMBOLOGIA

$a$	Incerteza expandida de instrumento de medição publicada em certificado de calibração
$A_{col}$	Área da secção transversal da coluna
$A_m$	Área da secção metálica do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)
$A_O$	Área de uma circunferência
$A_{\square}$	Área de uma elipse
$A_S, \Delta A_S$	Área da secção interna da campânula e sua variação
$b$	Braço ou raio da espiral na posição em que o respectivo peso se encontra
$c; w$	Semi-eixos de uma elipse
$C_a$	Curso da campânula disponível dentro do depósito
$C_b$	Curso da campânula disponível fora do depósito
$C_{adm}$	Carga admissível do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)
$c_i$	Coefficiente de sensibilidade de cada grandeza de entrada
$C_{rot}$	Carga de rotura do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)
$d$	Diâmetro nominal do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)
$D$	Módulo de Rigidez de placas circulares sujeitas a esforço central
$D_{Camp}$	Diâmetro nominal para efeitos de cálculo de espessura da campânula
$D_{DEP}$	Diâmetro do depósito
$DE$	Diâmetro exterior da campânula
$DE_{ref}, D_{DEP,ref}$	Diâmetros a temperaturas de referência (de calibração)
$DI$	Diâmetro interior da campânula
$e$	Espessura da secção cilíndrica da campânula
$E$	Módulo de Elasticidade (genérico)
$e_{\%}$	Erro relativo da calibração de contador (função de estado para cálculo da incerteza)
$e_l$	Diferença entre semi-eixos de uma elipse
$e_{sol}$	Coefficiente de eficiência de soldadura na campânula
$f$	Raio para cálculo de placas circulares
$f_R$	Folga radial entre campânula e depósito do gasómetro
$FS$	Factor de segurança (genérico)
$g$	Aceleração da gravidade
$h_0$	Curso da campânula para efeitos de cálculo da influência do deslocamento não vertical
$h_1$	Curso da secção corrigida da campânula, no caso de deslocação inclinada
$h_{1mbar}$	Desnível de óleo devido à pressão interna de 100 Pa (1 mbar)
$h_i$	Curso da secção da campânula, para efeitos de cálculo de verticalidade de curso
$h_{i->f}$	Desnível do óleo no depósito devido à imersão da campânula
$h_p$	Desnível de altura do óleo sujeita a pressão interna devida à pressão interna na campânula
$h_{p0}$	Desnível de altura do óleo sujeita a pressão atmosférica devida à pressão interna na campânula

$I$	Momento de inércia da secção das colunas
$j$	Folga horizontal máxima da campânula
$k$	Factor de expansão para cálculo da incerteza expandida
$l$	Altura da secção cilíndrica da campânula (versão expandida)
$l_{cabo}$	Comprimento do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)
$l_{col}$	Altura da coluna
$l_{i->f}$	Curso da campânula admitido para a geração de volume
$M$	Massa molar do gás/ar
$m_{Camp1,4m}$	Massa da campânula (para efeitos de cálculo inicial)
$M_{tt}$	Expressão de cálculo de relação entre raios do topo toriesférico
$n$	Número de observações
$P$	Peso da campânula (majorado para efeitos de cálculo inicial)
$p$	Pressão interna da campânula ou pressão genérica
$P_o$	Perímetro de uma circunferência
$P_{\bigcirc}$	Perímetro de uma elipse
$\Delta p_l$	Queda de pressão entre campânula e a mensuranda
$\Delta p_{RG}$	Pressão relativa de trabalho da campânula
$\Delta \rho_a; V_a$	Variação da massa volúmica e volume de armazenado na tubagem
$p_{1mbar}$	Pressão de 100 Pa (1 mbar) para cálculo do desnível do óleo
$P_{adm}$	Força admissível aplicada à coluna
$p_{atm}$	Pressão atmosférica
$P_{cr}$	Força crítica aplicada à coluna
$P_{imp}$	Peso que se encontra fixo à espiral
$p_{RG}; T_{RG}$	Pressão e temperatura absolutas na campânula
$p_{Rm}; T_{Rm}$	Pressão e temperatura absolutas na mensuranda
$\bar{q}$	Média aritmética de valores observados
$Q_M$	Caudal volúmico máximo para cada classe de contador
$Q_m$	Caudal volúmico mínimo para cada classe de contador
$Q_{FUGAS}$	Caudal mássico devido a fugas no sistema
$Q_{RG}$	Caudal mássico real gerado pela campânula
$R$	Constante de gás ideal
$r$	Raio (genérico)
$R; r$	Raio exterior e interior respectivamente da coluna
$r_O$	Raio de uma circunferencia
$r_I$	Raio interior da campânula corrigido
$R_c$	Raio de curvatura da calote esférica do topo toriesférico
$r_{CP}$	Raio do contra-peso
$r_{Dep}$	Raio do depósito



$r_e$	Raio exterior da campânula
$r_f$	Raio para cálculo de placas circulares
$r_i$	Raio interior da campânula
$r_g$	Raio para cálculo de placas circulares
$Rk$	Raio de curvatura da concordância toroidal do topo toriesférico
$R_r$	Raio das rodas do gasómetro
$s$	Desvio-padrão experimental da média
$S_{Cil}$	Área da secção cilíndrica da campânula (genérico)
$S_{CP}$	Área da secção do contra-peso
$S_{DCP}$	Área da secção do depósito do contra-peso
$S_{Dep}$	Área da secção do depósito
$\overline{S}_E$	Média da área da secção exterior da campânula
$S_{Ol}$	Superfície/Secção de óleo
$s_R$	Resolução finita de instrumento de medição
$S_{Topo}$	Área da secção do topo da campânula (genérico)
$t$	Espessura do topo da campânula
$T$	Temperatura absoluta (genérica)
$T_{esc}$	Tempo estabelecido para o escoamento do óleo (prévio a cada descida da campânula)
$T_{Final}, t_{Proj}, t_{enformação}, t_{corrosão}$	Espessuras para expressão do cálculo da espessura da campânula
$t_M$	Tempo de ensaio de contadores de gás ao caudal mínimo
$t_m$	Tempo de ensaio de contadores de gás ao caudal máximo
$U$	Incerteza expandida
$u$	Incerteza-padrão
$u(e_{A+B})$	Incerteza do erro do instrumento de medição contemplando as incertezas do tipo A e B
$\Delta T$	Diferencial de temperatura para efeitos de cálculo de expansibilidade térmica
$\Delta t$	Intervalo de tempo da subida da campânula para efeitos de cálculo de escoamento do óleo
$\Delta T_l$	Diferença de temperatura entre campânula e mensuranda
$\vec{v}$	Velocidade vectorial de volume de controlo
$V$	Volume (genérico)
$V_0$	Volume gerado pela campânula original, para efeitos de cálculo da expansibilidade térmica da secção
$V_l$	Volume gerado pela campânula, no caso deslocação inclinada
$V_C$	Capacidade volúmica da campânula
$V_{Camp}$	Volume da campânula
$V_{Camp1,4m}$	Volume da campânula (para efeitos de cálculo inicial)
$V_{Cil}$	Volume da secção cilíndrica da campânula (genérico)
$V_{EC}$	Volume exterior da campânula entre as duas posições de funcionamento
$V_{ECf}, V_{ECi}$	Volume exterior da campânula na sua posição final; inicial

$\nu_{ef}$	Graus de liberdade para a incerteza padrão
$V_{EX}$	Volume da campânula resultante de expansão térmica
$V_i$	Volume gerado pela campânula original, para efeitos de cálculo da verticalidade do curso
$V_{im}$	Volume da campânula imergida
$\Delta V_{OI}$	Volume devido a deficientes compensações do desnível do óleo
$V_{Óleo}$	Volume ocupado pelo filme de óleo na secção imergida da campânula
$\Delta V_p$	Variação de volume verificado na secção sujeita a pressão interna
$\Delta V_{p0}$	Variação de volume verificado na secção sujeita a pressão atmosférica devida à pressão
$\Delta V_{ref}$	Diferença de volume da campânula resultante de diferenças das condições de referência
$V_{Topo}$	Volume do topo da campânula (genérico)
$W$	Carga aplicada a placas circulares
$X_i$	Grandezas de entrada
$x_i$	Estimativa das grandezas de entrada
$y$	Estimativa da mensuranda
$Y$	Grandeza de saída ou mensuranda
$Z; Z_{RG}; Z_{Rm}$	Factor de compressibilidade de um gás/ar genérico; às condições de temperatura e pressão da campânula; às condições (temperatura e pressão) da mensuranda
$\alpha_{Al}$	Coeficiente de expansibilidade térmica do alumínio (a 20 °C)
$\alpha_{SS}$	Coeficiente de expansibilidade térmica do aço AISI 304 (0 a 100 °C)
$\beta$	Coeficiente de expansibilidade térmica de uma secção em aço inox
$\delta$	Deformação elástica do cabo de aço utilizado na suspensão da campânula
$\delta_{max}$	Flecha máxima para o topo plano da campânula (genérico)
$\theta$	Ângulo de inclinação máximo da campânula (para folga horizontal máxima de 3 mm)
$\lambda$	Esbelteza de colunas
$\mu$	Coeficiente de atrito de Teflon® (PTFE)
$\nu$	Coeficiente de Poisson
$\nu_k$	Viscosidade cinemática do óleo (a 20 °C)
$\rho$	Massa volúmica do gás/ar (genérico)
$\rho_{Al}$	Massa volúmica do alumínio
$\rho_{Óleo}$	Massa volúmica do óleo
$\rho_{RG}; V_{RG}$	Massa volúmica e volume real gerado pela campânula
$\rho_{Rm}; V_{Rm}$	Massa volúmica e volume real que passa na mensuranda
$\rho_{SS}$	Massa volúmica do aço AISI 304
$\rho_y$	Raio de giração da coluna segundo seu eixo
$\sigma_{adm}$	Tensão admissível do aço AISI 304 (Factor de segurança, F.S. = 2)
$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência do aço AISI 304

## ACRÓNIMOS

AISI - American Iron and Steel Institute  
ASME - American Society of Mechanical Engineers  
BIPM - Bureau International des Poids et Mesures  
CATIM - Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica  
CEN - Comité Européen de Normalisation  
CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique  
CFV - Critical Flow Venturi  
CMM - Coordinate-Measuring Machine  
CODATA - Committee on Data for Science and Technology  
CT - Comissão Técnica  
DIN - Deutsches Institut für Normung e. V.  
EA - European co-operation for Accreditation  
EN - European Norm  
EUROMET - European Collaboration in Measurement Standards  
EURAMET - European Association of National Metrology Institutes  
ETSI - European Telecommunications Standards Institute  
F&D - Flanged & Dished Heads  
GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement  
IAF - International Accreditation Forum  
IEC - International Engineering Consortium  
ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation  
IPAC - Instituto Português de Acreditação - Organismo Nacional de Acreditação  
ISO - International Organization for Standardization  
ITS - International Temperature Scale  
LCM/IPQ - Laboratório Central de Metrologia do Instituto Português da Qualidade  
MEI - Ministério da Economia e da Inovação  
MID - Measurement Instrument Directive  
MIG - Metal Inert Gas (soldadura)  
MRA - Mutual Recognition Arrangement  
MSDS - Material Safety Data Sheet  
NEL - National Engineering Laboratory  
NIST - National Institute of Standards and Technology  
NP - Norma Portuguesa  
NPSL - Navy Primary Standards Laboratory  
OIML - Organização Internacional de Metrologia Legal  
ONN - Organismo Nacional de Normalização

ONS - Organismos de Normalização Sectorial

OVM - Organismos de Verificação Metrológica

PID - proportional-integral-derivative

PRT - Platinum Resistance Thermometer

PTB - Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

PVD - Physical Vapor Deposition

PVTt - Pressure, volume, temperature and time

RTD - Resistance Temperature Detector

SI - Sistema Internacional de Unidades

SPQ - Sistema Português da Qualidade

Teflon® PTFE - Politetrafluoretileno da Dupont™

Teflon® FEP - Etileno-propileno Fluorado da Dupont™

Teflon® PFA - Perfluoroalcóxico da Dupont™

TIG - Tungsten Inert Gas (soldadura)

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia

VIML - Vocabulário Internacional de Metrologia Legal

WELMEC - Western European Legal Metrology Cooperation ou European Cooperation in Legal

Metrology

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1 Enquadramento .....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Génese do tema da tese.....</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Termos e definições .....</i>	<i>3</i>
<i>1.4 Histórico.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5 Objectivos.....</i>	<i>8</i>
<b>2. DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEPTUAL.....</b>	<b>11</b>
<i>2.1 Introdução .....</i>	<i>11</i>
<i>2.2 Pré-definições .....</i>	<i>11</i>
<i>2.3 Teoria de funcionamento e pré-dimensionamento da campânula .....</i>	<i>12</i>
<b>3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<i>3.1 Campânula – Espessuras e tipologias.....</i>	<i>15</i>
<i>3.2 Dimensionamento do cabo .....</i>	<i>21</i>
<i>3.3 Depósito de contra-peso e contra-peso .....</i>	<i>22</i>
<i>3.4 Colunas .....</i>	<i>23</i>
<i>3.5 Imersão .....</i>	<i>24</i>
<i>3.5.1 Nível do óleo.....</i>	<i>24</i>
<i>3.5.2 Impulsão .....</i>	<i>25</i>
<b>4. FABRICO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO .....</b>	<b>29</b>
<i>4.1 Considerações sobre a campânula.....</i>	<i>29</i>
<i>4.2 Alternativas de construção .....</i>	<i>30</i>
<i>4.3 Outros componentes .....</i>	<i>31</i>
<i>4.3.1 Óleo.....</i>	<i>31</i>
<i>4.3.2 Tubagem .....</i>	<i>31</i>
<i>4.3.3 Bomba de ar.....</i>	<i>32</i>
<i>4.3.4 Instrumentação de medição de deslocamento da campânula.....</i>	<i>32</i>
<i>4.3.5 Medição da temperatura.....</i>	<i>34</i>
<i>4.3.6 Medição da pressão.....</i>	<i>34</i>
<i>4.3.7 Aquisição de dados .....</i>	<i>35</i>
<i>4.4 Caderno de encargos .....</i>	<i>36</i>
<b>5. METODOLOGIA DE ENSAIO E DE CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<i>5.1 Objectivo .....</i>	<i>37</i>
<i>5.2 Premissas .....</i>	<i>37</i>

<b>5.3 Resumo das características dos equipamentos seleccionados .....</b>	<b>38</b>
<b>5.4 Metodologia de calibração do gasómetro .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5 Teoria da medição .....</b>	<b>41</b>
5.5.1 Definição de erro.....	41
5.5.2 Definição e cálculo de incerteza.....	42
5.5.3 Cálculo da incerteza associada ao volume da campânula.....	46
5.5.4 Determinação da incerteza do gasómetro.....	54
5.5.5 Determinação da incerteza da calibração da mensuranda.....	58
<b>5.6. Procedimento técnico a utilizar nos ensaios do gasómetro.....</b>	<b>59</b>
5.6.1 Objectivo.....	59
5.6.2 Definições gerais.....	59
5.6.3 Definições específicas.....	60
5.6.4 Rastreabilidade da medição do gasómetro .....	60
5.6.5 Descrição das unidades de medida .....	61
5.6.6 Equipamentos .....	61
5.6.7 Técnicas gerais.....	62
5.6.8 Segurança.....	63
5.6.9 Procedimento de ensaio.....	64
5.6.10 Validação e cálculo .....	66
5.6.11 Apresentação de resultados.....	67
5.6.12 Manutenção e gestão.....	67
5.6.13 Funcionamento e volume da campânula .....	67
<b>6. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>71</b>
6.1 Linguagem de programação LabVIEW .....	71
6.2 Programação .....	71
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Diagrama do Sistema Português da Qualidade.</i>	1
<i>Figura 2 - PVTt.</i>	6
<i>Figura 3 - Gasómetros para armazenamento de gás no séc. XIX</i>	6
<i>Figura 4 - Conceito básico de funcionamento do gasómetro (esquema simplificado).</i>	7
<i>Figura 5 - Gasómetros (“Bell Prover”) existentes no mercado.</i>	8
<i>Figura 6 - Sonic Nozzle.</i>	8
<i>Figura 7 - Curso do gasómetro (pormenor de folga radial)</i>	13
<i>Figura 8 – Estrutura existente no LCM</i>	14
<i>Figura 9 - Tipologia de topo tori esférico ASME 6 %.</i>	15
<i>Figura 10 - Flechas para diferentes tipos de apoios</i>	17
<i>Figura 11 - Flechas para diferentes tipos de apoios</i>	18
<i>Figura 12 - a) Curso e posição superior da campânula b) Posição inferior da campânula</i>	18
<i>Figura 13 - a) Estrutura actual b) Estrutura expandida</i>	20
<i>Figura 14 - Cabo 19 fios.</i>	21
<i>Figura 15 - Aplicação de depósito de contra-peso.</i>	22
<i>Figura 16 - Aplicação da espiral.</i>	26
<i>Figura 17 - Regulador de fluxo e símbolo pneumático.</i>	27
<i>Figura 18 - Acessórios de fixação de contra-peso e campânula</i>	30
<i>Figura 19 - Aplicação de cilindro interior</i>	30
<i>Figura 20 - Exemplo de posicionador</i>	33
<i>Figura 21 - Funcionamento de “encoder” linear.</i>	33
<i>Figura 22 - Funcionamento de “encoder” incremental.</i>	33
<i>Figura 23 - Tipo de cabeçotes para sondas de temperatura</i>	34
<i>Figura 24 - Representação simbólica de calibração gravimétrica com a campânula invertida.</i>	40
<i>Figura 25 - Distribuição normal (Gauss), rectangular e triangular.</i>	44
<i>Figura 26 - Não verticalidade do curso da campânula.</i>	53
<i>Figura 27 - Expansibilidade térmica da campânula</i>	57
<i>Figura 28 - Fluxograma da rastreabilidade do gasómetro</i>	60
<i>Figura 29 - Diagrama de processo.</i>	65
<i>Figura 30 - Esquema de medição de diâmetro exterior da campânula.</i>	68
<i>Figura 31 - Block Diagram e Functions Palette.</i>	71
<i>Figura 32 - Front Panel e Controls Palette.</i>	72
<i>Figura 33 - Interligação entre funções e controlos nas duas janelas (Front Panel e Block Diagram).</i>	72
<i>Figura 34 - Fluxograma de aplicativo desenvolvido em ambiente LabVIEW</i>	73
<i>Figura 35 - Front Panel do programa do gasómetro</i>	74
<i>Figura 36 - Block Diagram do programa do gasómetro.</i>	75

<i>Figura 37 - Espiral</i> .....	89
----------------------------------	----



## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Capacidade das diversas classes de contadores volúmicos de gás.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 2 - Caudal máximo das diversas classes de contadores volúmicos de gás.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 3 - Caudal mínimo das diversas classes de contadores volúmicos de gás. ....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 4 - Flechas consoante a espessura e o tipo de apoio (simples e encastrado).....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 5 - Volume requerido com margem adicional .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 6 - Capacidade da campânula em litros: altura (útil) versus diâmetro interior (disponível) .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 7 - Relação entre cilindridade e erro máximo no volume da campânula .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 8 - Fontes de incerteza.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 9 - Expressão da incerteza na determinação do volume da campânula.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 10 - Expressão da incerteza na determinação do volume transaccionado na mensuranda .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 11 - Condições ambientais.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 12 – Valores obtidos e utilizados em cálculo.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 13 - Cálculo da espiral .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 14 - Orçamento .....</i>	<i>91</i>



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

O Instituto Português da Qualidade (IPQ), enquanto organismo gestor e coordenador do Sistema Português da Qualidade (SPQ), é um instituto público, integrado na administração indirecta do Estado Português, na tutela do Ministério da Economia e da Inovação (MEI), regido pelo Decreto de Lei nº 142/2007, de 27 de Abril e pela Portaria nº 540/2007, de 30 de Abril que aprovam respectivamente, a sua orgânica e estatutos. As diversas entidades e organizações que integram o SPQ são: o Organismo Nacional de Acreditação, os Organismos de Normalização Sectorial (ONS), os Organismos de Verificação Metrológica (OVM), os Laboratórios Acreditados (Calibração, Ensaios e Laboratórios de análises clínicas), os Organismos de inspecção sectorial, os Organismos de inspecção de veículos, os Organismos de Certificação (de Sistemas de Gestão, Pessoas, Produtos e Serviços), os Verificadores ambientais acreditados, as Empresas certificadas, os Auditores certificados e os Técnicos de ensaios e soldadores (ou operadores de soldadura certificados). Estas entidades interrelacionam-se e interactuam, segundo procedimentos e princípios aceites internacionalmente, para o desenvolvimento sustentado da economia e da qualidade de vida em Portugal, por via do aumento da produtividade e da competitividade, congregando três subsistemas - da normalização, da qualificação e da metrologia [1,2] e tornando a Qualidade num factor estratégico da sociedade, sendo simultaneamente transversal, independentemente da actividade e acima do espírito economicista.



Figura 1 - Diagrama do Sistema Português da Qualidade.

Cada subsistema assegura representatividade internacional de estruturas relevantes. Na qualificação, o IPAC (Instituto Português de Acreditação - Organismo Nacional de Acreditação), que desenvolve as actividades de acreditação, é membro da EA (*European co-operation for Accreditation*) e signatário dos respectivos Acordos de Reconhecimento Mútuo (MRA - *Mutual Recognition Arrangement*) entre organismos de acreditação desde Abril de 2006.

A manutenção do estatuto de signatário obriga à demonstração, através de um sistema de avaliação entre pares, da competência dos organismos de acreditação pelo cumprimento da NP EN ISO/IEC 17011 (Norma Portuguesa / *European Norm* / *International Organization for Standardization* / *International Electrotechnical Commission*), bem como das disposições complementares aplicáveis da EA, ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*) e IAF (*International Accreditation Forum*). A acreditação é o procedimento através do qual este organismo formalmente reconhece competências técnicas a uma determinada entidade para execução de uma função específica, de acordo com normas nacionais, europeias e internacionais, baseando-se nas orientações dos organismos internacionais acima mencionados. A certificação é o procedimento através do qual uma entidade acreditada formalmente reconhece que, determinado produto, processo, serviço ou sistema se encontra em conformidade com os requisitos especificados.

A coordenação do subsistema de normalização é feita através do IPQ (como Organismo Nacional de Normalização), que intervém na divulgação e promoção desta actividade, no desenvolvimento e notificação de regulamentos técnicos, de normas e outros documentos de carácter normativo, no âmbito nacional e das organizações europeias (*CEN - Comité Européen de Normalisation* e *CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*) e internacionais (*ISO, IEC e ETSI - European Telecommunications Standards Institute*).

O subsistema de metrologia (figura 1) tem, através do IPQ (como Organismo Nacional de Metrologia), as seguintes competências delegadas: o controlo metrológico legal dos instrumentos de medição, a capacidade para reconhecer competências técnicas a entidades para delegação desse controlo e a rede por elas constituídas, garantindo a cobertura nacional no âmbito da metrologia aplicada e a participação na Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) e na WELMEC (*Western European Legal Metrology Cooperation* ou *European Cooperation in Legal Metrology*). Para além do referido, o subsistema da Metrologia tem como função gerir o Laboratório Central de Metrologia (LCM), no âmbito da metrologia científica (fundamental), assegurando a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões nacionais das unidades de medida e sua rastreabilidade, promovendo os valores e unidades do Sistema Internacional (SI). Também participa em processos de intercomparabilidade e equivalência internacional dos seus padrões, relacionados com o Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) e no âmbito do EURAMET (*European Association of National Metrology Institutes*).

## **1.2 Génese do tema da tese**

No âmbito da metrologia legal, foi transposta para o quadro legal Português a Directiva Europeia MID (*Measurement Instrument Directive*), nº 2004/22/CE, pelo Decreto-Lei nº192/2006 de 26 de

Setembro. Este Decreto-Lei define os requisitos essenciais, gerais, a observar na colocação no mercado, e em serviço, dos instrumentos de medição nele referidos [3]. A Portaria nº 34/2007, de 8 de Janeiro, define os requisitos específicos a observar nos instrumentos de medição, para efeitos do exercício de controlo metrológico aplicável aos contadores de gás, volumétricos de paredes deformáveis, para uso doméstico, comercial e das indústrias ligeiras.

Consequentemente, surgiu a necessidade de se dar início a um processo de desenvolvimento de um padrão primário, que sirva a rastreabilidade das medições necessária e exigida pelas verificações de tais equipamentos e que se estabeleça como padrão nacional no LCM, mais propriamente no Laboratório de Volumes do IPQ.

Como resultado, a presente tese consiste na concepção e desenvolvimento de um **gasómetro**, nas instalações do Laboratório de Volumes do LCM do IPQ, localizados no Monte da Caparica. Para além da concepção da estrutura e de todo o sistema envolvente, pretende-se analisar, sua construção mecânica e colocação em funcionamento, tendo sido desenvolvida uma ferramenta de *software* para aquisição de dados e cálculo de incertezas associadas às medições.

Nas instalações do IPQ, existia uma estrutura base, sobre a qual se estudaram alterações a introduzir, de modo a desenvolver diversas capacidades volumétricas da estrutura que permitissem a sua rentabilidade económica [4]. Para obter a viabilidade financeira do equipamento a desenvolver, adoptou-se como objectivo o aspecto mais funcional, diminuindo a perspectiva da optimização mecânica, sem contudo existir qualquer prejuízo do ponto de vista técnico da funcionalidade do sistema.

Esteve igualmente presente, no desenvolvimento do modelo do padrão primário de volume dinâmico de gases, a necessidade de a solução encontrada ser suficientemente flexível de modo a permitir o ajuste ou afinação do mesmo, tendo como objectivo conceptual o aperfeiçoamento do seu funcionamento durante os ensaios, durante o estabelecimento da metodologia ou posteriormente com a sua colocação em actividade, aumentando a capacidade da actividade do sistema com o menor custo envolvente.

### 1.3 Termos e definições

a) Cariz metrológico [5]

Medição - Processo experimental para obter um ou mais valores razoavelmente atribuíveis a uma grandeza.

Instrumento de medição - Dispositivo usado para realizar medições, isolado ou em conjunto com dispositivos complementares.

Mensuranda - Grandeza que se pretende medir.

Grandeza - Propriedade de um fenómeno, corpo, ou substância, que se pode exprimir quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência.

Exactidão de medição - Aproximação entre um valor medido e um valor verdadeiro de uma mensuranda.

Erro de medição - Diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência.

Padrão primário - Padrão estabelecido através de um procedimento de medição primário ou criado como artefacto escolhido por convenção.

Procedimento de medição primário - procedimento de medição de referência usado para obter um resultado da medição sem relação com um padrão de medição para uma grandeza da mesma natureza.

Metrologia - Ciência da medição e suas aplicações.

Incerteza de medição - Parâmetro não-negativo que caracteriza a dispersão dos valores da grandeza que são atribuídos à mensuranda a partir das informações usadas.

Rastreabilidade metrológica - propriedade de um resultado de medição através da qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por intermédio de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

Repetibilidade de medição - Fidelidade de medição para um conjunto de condições de repetibilidade.

Fidelidade de medição - aproximação entre indicações ou valores medidos obtidos por medições repetidas no mesmo objecto ou objectos semelhantes em condições especificadas.

Condição de repetibilidade - Condição de medição num conjunto de condições, que inclui o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições operativas e a mesma localização, e medições repetidas no mesmo objecto ou objectos similares, num curto intervalo de tempo.

Reprodutibilidade de medição - Fidelidade de medição para um conjunto de condições de reprodutibilidade.

Condição de reprodutibilidade - Condição de medição num conjunto de condições, que inclui os diferentes locais, operadores e sistemas de medição e medições repetidas no mesmo objecto ou objectos similares.

#### b) Específicas

Gás - Estado da matéria distinguível dos outros estados da matéria (sólido e líquido), compressível com reduzida massa volúmica e viscosidade. No caso em estudo, o gás utilizado é o ar às condições normalizadas, de atmosfera padrão (com uma pressão definida de 101 325 Pa).

Compressibilidade - A compressibilidade é uma propriedade termodinâmica característica de cada fluido [6]. A noção encontra-se directamente relacionada com variações locais de massa volúmica. Ocasionalmente é considerado que os gases com velocidades de escoamento inferiores a 20 % da velocidade de som local são incompressíveis, mas esta consideração representa um erro potencial de cerca de 1 %, não sendo aceitável para o tipo de aplicação pretendida [7].

Volume - Grandeza derivada, que quantifica o espaço ocupado por um corpo, no espaço tridimensional de um referencial ortogonal. Com unidade derivada do metro, o metro cúbico.

Caudal volúmico - Grandeza derivada, que representa o escoamento de uma grandeza volúmica quantificável, em metros cúbicos por hora ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), ou em litros por minuto.

Gasómetro - Reservatório de gás cujo escoamento é actuado graviticamente.

*Bell Prover* - Expressão, em língua inglesa, para o caso particular do gasómetro destinado à utilização para fins metrológicos (desígnio do presente estudo). Equipamento gerador do caudal e do volume de gás necessário à calibração dos contadores de gás e de outros equipamentos susceptíveis de serem ensaiados.

Contador de gás - Instrumento de medição, totalizador (acumulador), de volume de gás transitado. Implica um ponto inicial e final do funcionamento do gasómetro, independente do tempo, apenas estabelecido pelos caudais mínimos e máximos nas normas e legislações vigentes.

Caudalímetro - Instrumento de medição de caudal (volúmico) instantâneo de gás, que poderá ter leitura totalizadora ou acumulativa.

## **1.4 Histórico**

Tradicionalmente, os padrões primários de caudal são baseados nos métodos gravimétricos ou volumétricos. O método gravimétrico, na medição da massa colectada de gás, consiste na medição directa do seu peso, antes e após trasfega, às condições de referência (temperatura e pressão); o método volumétrico calcula a massa do gás colectado, multiplicando a massa volúmica do gás pelo volume do tanque colector. Os padrões volumétricos incluem o método *PVTt* (*Pressure, volume, temperature and time* figura 2), o *Piston Prover* e o *Bell Prover*.

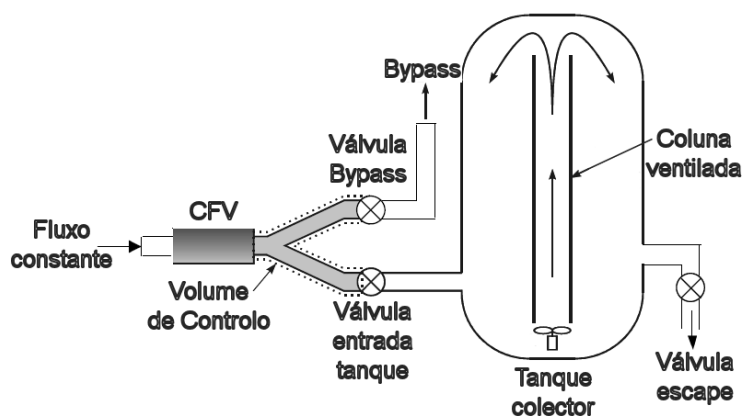


Figura 2 - PVTt

O *Piston Prover*, por vezes denominado por gasómetro seco, gera um volume por deslocamento de um cilindro/pistão, com determinada secção e curso, com actuação mecânica e pressões elevadas. No *Bell Prover*, o volume gasoso é definido por actuação gravimétrica do peso próprio de uma campânula e, dessa forma, com pressões muito próximas da atmosférica.

Os gasómetros surgiram na segunda metade do século XIX, como dispositivos de armazenamento de gás [8] (figura 3).

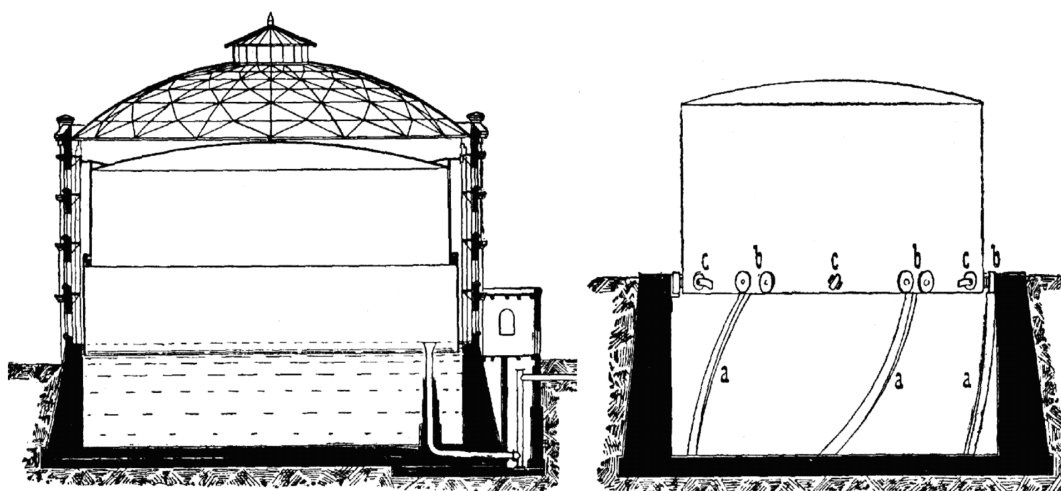


Figura 3 - Gasómetros para armazenamento de gás no séc. XIX

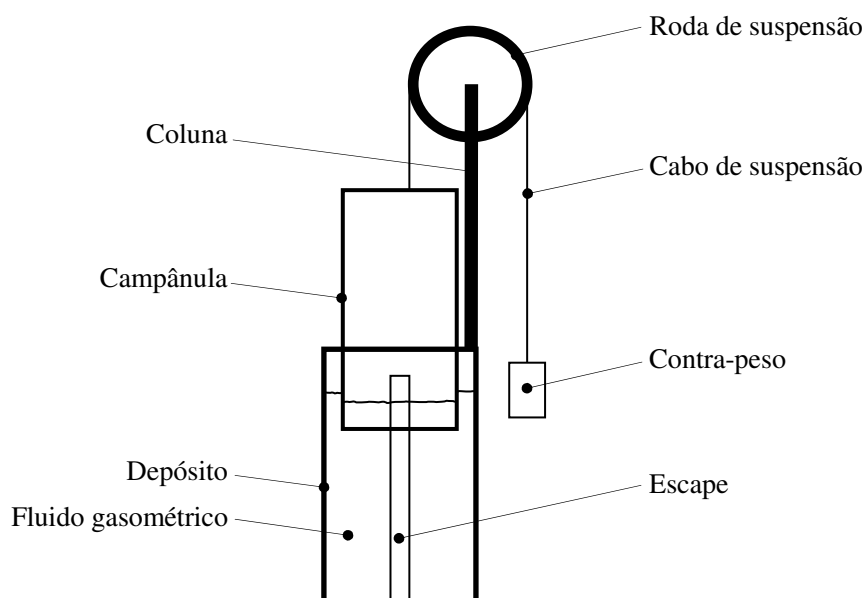
Com o aparecimento dos contadores na viragem do século XIX, o desenvolvimento da tipologia para calibração surgiu na forma do *Bell Prover*, constituindo a referência em calibração de contadores de gás, devido à sua simplicidade de funcionamento (figuras 4 e 5). É geralmente utilizado em laboratórios de metrologia, como referência de calibração e de inter-comparação com outras metodologias de calibração e por fabricantes e restauradores de contadores de gás.

O gasómetro tem como base de funcionamento a deslocação de um sino (neste documento é designado por campânula), ou copo invertido, de secção conhecida, num conteúdo selante inserido num depósito (geralmente óleo), ver figura 4. A secção da campânula e a sua deslocação, devida ao seu peso



próprio, permitem a passagem de um determinado volume de gás (ar) conhecido, por uma conduta de escape inserida no depósito e acima do nível do óleo. Na extremidade oposta da linha de escoamento é colocado um contador volúmico de gás (ou caudalímetro). Se as condições/propriedades físicas do gás se mantiverem (temperatura e pressão), o volume transaccionado ao longo do escoamento e ao longo do processo será o mesmo. Se existir alteração, terá de ser reavaliado o volume através das diferentes temperaturas e pressões pela lei de gases ou outra.

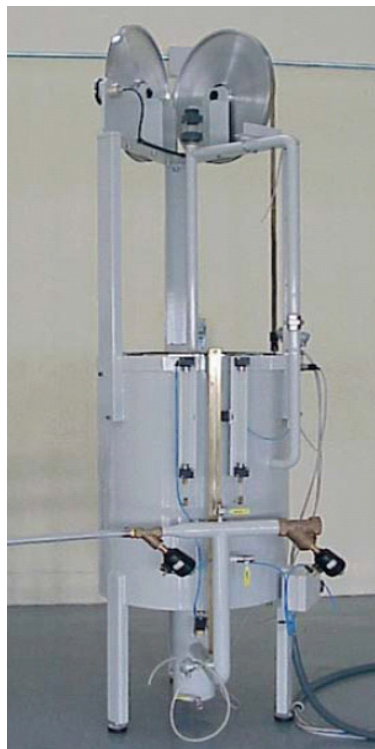
A calibração do gasómetro poderá não ser obtida através das suas próprias características físicas, mas através da comparação com outro volume padronizado. O gasómetro poderá igualmente ser útil para a calibração de outros equipamentos, dos quais dependem volumes transaccionados conhecidos, como por exemplo os equipamentos de medição de misturas gasosas com a passagem de um determinado volume padronizado introduzido no gasómetro [9] e outros inúmeros equipamentos que dependem directamente de um caudal ou volume de gás conhecido (contadores de partículas, sistemas de filtragem, bombas, etc.)



*Figura 4 - Conceito básico de funcionamento do gasómetro (esquema simplificado).*



FTI Autobell Bell Prover



Actaris Bell Prover

Figura 5 - Gasómetros ("Bell Prover") existentes no mercado

Como complemento ao referido anteriormente, existem diversas metodologias disponíveis para a medição do escoamento de gases em conduta fechada, entre os quais *Orifice Plate* e *Sonic Nozzle* - Medição pelo efeito de Venturi (CFV - *Critical Flow Venturi*) como mostrado na figura 6 [10], com os quais o resultado do funcionamento do gasómetro poderá ser comparado.

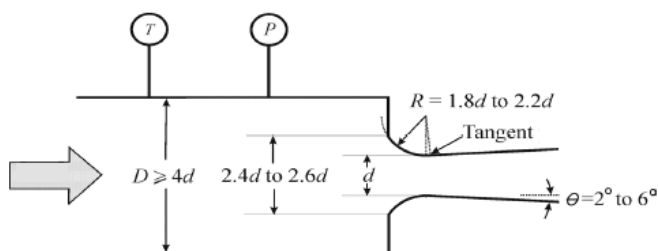


Figura 6 - Sonic Nozzle

## 1.5 Objectivos

O objectivo de desenvolvimento do equipamento é o de calibração de contadores volúnicos de gás para uso doméstico, comercial e de indústrias ligeiras. A calibração de contadores volúnicos de gás é feita segundo as normas prNP 2979 e NP 1813, que definem, entre outras, a designação dos contadores em função dos caudais máximo e mínimo (Tabela 1), assim como o tempo mínimo de calibração para os contadores volúnicos de gás (Tabela 2). A calibração deverá ser executada durante, pelo menos, um minuto com o caudal máximo comportado pelo modelo de contador e durante vinte minutos com o seu caudal mínimo, conforme Tabela 3.

*Tabela 1 - Capacidade das diversas classes de contadores volúmicos de gás.*

Designação dos contadores	Caudal máximo		Caudal mínimo	
	(m <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /s)	(dm <sup>3</sup> /h)	(dm <sup>3</sup> /s)
G 1.6	2,5	0,694 x 10 <sup>-3</sup>	16	4,44 x 10 <sup>-3</sup>
G 2.5	4	1,111 x 10 <sup>-3</sup>	25	6,94 x 10 <sup>-3</sup>
G 4	6	1,667 x 10 <sup>-3</sup>	40	11,11 x 10 <sup>-3</sup>
G 6	10	2,778 x 10 <sup>-3</sup>	60	16,67 x 10 <sup>-3</sup>
G10	16	4,444 x 10 <sup>-3</sup>	100	27,78 x 10 <sup>-3</sup>

*Tabela 2 - Caudal máximo das diversas classes de contadores volúmicos de gás.*

Contadores e caudais máximos $Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)		Tempo de ensaio $t_m$ (s)	Vol. requerido	
			(m <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
G 1.6	0,694 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,041 67	41,67
G 2.5	1,111 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,066 67	66,67
G 4	1,667 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,100 00	100,00
G 6	2,778 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,166 67	166,67
G10	4,444 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,266 67	266,67

*Tabela 3 - Caudal mínimo das diversas classes de contadores volúmicos de gás.*

Contadores e Caudais mínimos $Q_M$ (dm <sup>3</sup> /h)		Tempo de ensaio $t_M$ (min.)	Vol. Requerido	
			(m <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
G 1.6	16	20	5,333 x 10 <sup>-3</sup>	5,333
G 2.5	25	20	8,333 x 10 <sup>-3</sup>	8,333
G 4	40	20	13,33 x 10 <sup>-3</sup>	13,333
G 6	60	20	20,0 x 10 <sup>-3</sup>	20,0
G10	100	20	33,33 x 10 <sup>-3</sup>	33,333

O dimensionamento da campânula do *Bell Prover* será definido pelo volume mínimo requerido para obter o escoamento ao caudal máximo do respectivo modelo de contador.

Para além do supra mencionado, existem outras variáveis que condicionam o funcionamento do gasómetro, entre as quais:

- Pressão
  - Na campânula
  - No contador
  - Atmosférica
  - Calibração
  - Exactidão
- Temperatura
  - Na campânula
  - No contador
  - Ambiente
  - Calibração
  - Exactidão
  - Óleo
- Campânula
  - Forma interior e volume imerso
  - Posição horizontal e vertical
  - Expansão térmica
  - Uniformidade de movimento
  - Peças de massa
  - Volume imerso (forma exterior)
- Posicionador
  - Calibração
  - Exactidão
- Tubagem
  - Volume residual
  - Expansão térmica
  - Fugas
- Aquisição de dados
  - Calibração
  - Digitalização e conversão de sinal
- Análise de dados
  - Equação de gases
- Óleo
  - Propriedades
  - Nível
  - Filme aderente

## **2. DEFINIÇÃO DO MODELO CONCEPTUAL**

### **2.1 Introdução**

Uma vez que o equipamento, para além da referência metrológica no Laboratório de Volumes do LCM/IPQ que pretende atingir, terá igualmente carácter comercial na calibração dos contadores anteriormente referidos, o modelo terá de definir-se essencialmente por requisitos metrológicos e não tanto pelas características mecânicas (apesar de estas influenciarem as primeiras) ou outras. É claro que o equipamento apenas servirá o seu intuito, se as inerentes variáveis mecânicas e de funcionamento forem alcançadas, mas será essencial garantir fundamentalmente que as variáveis de funcionamento sejam determinadas com tanta exactidão quanto possível, garantindo concomitantemente a viabilidade económica do mesmo.

O controlo apertado das variáveis do projecto vai repercutir-se nos parâmetros do dimensionamento, nas solicitações actuais, na selecção dos materiais e equipamento auxiliar a utilizar, no estabelecimento do funcionamento do gasómetro em pleno, assim como na avaliação contínua e periódica e na melhoria qualitativa de todo o processo.

### **2.2 Pré-definições**

Não se prevêem alterações de temperatura e pressão ambiente suficientes que afectem a deformação mecânica ou a dilatação térmica dos componentes e considera-se que existirá sempre a estabilidade ou reduzida variação das condições ambientais do local onde for instalado o gasómetro. A temperatura e a humidade relativa ambiente do local de funcionamento terão de ser controladas nas imediações do equipamento e registadas pelo menos nas 24 horas anteriores à data de realização de testes, verificações ou calibrações; no caso em que não sejam medidas a pressão atmosférica e a aceleração da gravidade no local, terá de se considerar os valores padronizados. Estas condições são vitais para garantir uma incerteza diminuta e aumentar a fiabilidade do funcionamento do gasómetro, uma vez que a acontecerem variações nas variáveis indicadas, ter-se-ão de contabilizar alterações de massa volúmica, viscosidade do óleo e consequentes alterações do seu nível, alterações no escoamento e nos materiais utilizados.

Os dispositivos mecânicos a serem construídos para o funcionamento do gasómetro são desenvolvidos de modo a permitirem o máximo de tipos de ajustes, de posicionamento e de modo de funcionamento. Em paralelo, são desenvolvidos e dimensionados e/ou seleccionados na perspectiva funcional e económica, em detrimento da aparência ou de outros aspectos que não influem nas variáveis do sistema. A padronização e os critérios de simplificação serão importantes para a construção e montagem do equipamento. Deste modo, utilizar-se-ão materiais facilmente adquiridos no mercado e com espessuras de materiais existentes comercialmente. Na escolha dos materiais e dimensões, será dada primazia à relação qualidade/preço.

Tendo em vista a durabilidade e a fiabilidade do sistema, o principal material utilizado na construção será o aço inoxidável AISI 304 (EN DIN 1.4301). Trata-se de um aço inoxidável austenítico corrente, relativamente económico e resistente à corrosão, cuja escolha pretende aumentar a vida útil do equipamento e a reprodutibilidade das medições obtidas, evitando perdas de massa por corrosão.

As principais propriedades mecânicas e físicas do aço AISI 304, a 24 °C, são [11]:

- Módulo de Elasticidade,  $E = 190 \text{ GPa}$
- Tensão de cedência,  $\sigma_{ced} = 207 \text{ MPa}$
- Massa volúmica,  $\rho_{SS} = 8 \text{ g/cm}^3$
- Coeficiente de Poisson,  $\nu = 0,29$
- Coeficiente de expansão térmica,  $\alpha_{SS} = 17,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (entre 0 e 100 °C)

Admitindo a utilização de um factor de segurança ( $FS$ ) de 2 tendo em atenção a fiabilidade e qualidade dos aços produzidos e a inexistência de contacto directo com o equipamento quando em funcionamento [12], a tensão admissível de projecto vem igual:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ced}}{FS} = \frac{207}{2} = 103,5 \text{ MPa} \quad (1)$$

Outros materiais utilizados no fabrico do equipamento e respectivas características relevantes ou condicionantes da sua utilização são:

Alumínio (ou liga de alumínio não específica)

- Massa volúmica,  $\rho_{Al} = 2,7 \text{ g/cm}^3$
- Coeficiente de expansão térmica,  $\alpha_{Al} = 23,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (a 20 °C)

Fluoropolímero (ou semelhante do tipo Teflon® PTFE - Politetrafluoretileno)

- Coeficiente de atrito  $\mu < 0,1$

Óleo (selante do gasómetro)

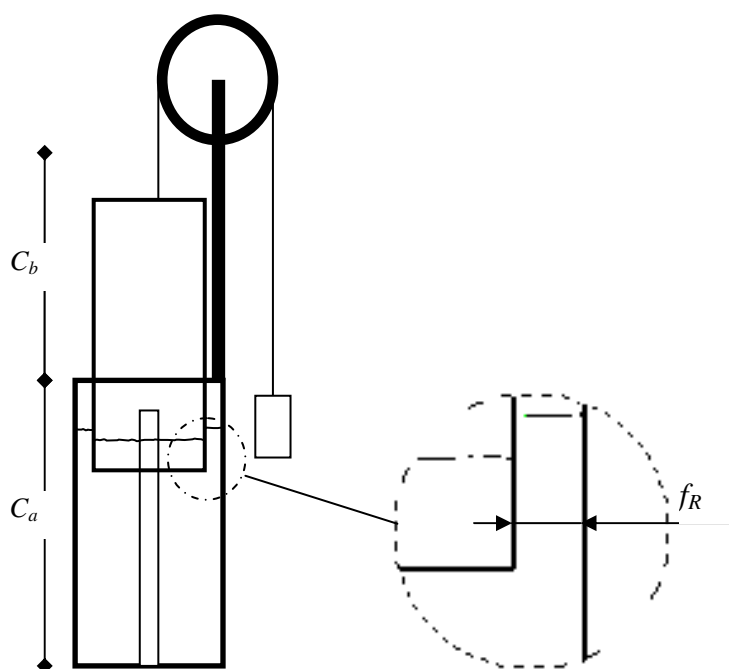
- Massa volúmica,  $\rho_{oleo} = 0,88 \text{ kg/dm}^3$
- Viscosidade cinemática,  $\nu_k = 3 \text{ a } 30 \text{ cSt}$  (a 20 °C)

O óleo é o selante do gasómetro (ou líquido gasométrico), devido às suas propriedades lubrificantes e reduzida pressão de vapor. Estas propriedades são comparadas com as da água, que, no entanto, acrescenta a desvantagem de ser um elemento potenciador da corrosão e ter uma pressão de vapor elevada, podendo interferir com a mistura gasosa dentro da campânula, potenciando problemas de condensação. Poderia, igualmente, a curto termo, alterar o nível no depósito devido a evaporação, alterando assim as condições de funcionamento.

### 2.3 Teoria de funcionamento e pré-dimensionamento da campânula

A campânula com forma conhecida tem um determinado curso vertical ao qual corresponde um volume transaccionado conhecido. O funcionamento do equipamento deverá respeitar as definições apresentadas seguidamente:

A base da campânula nunca deverá subir acima do nível do óleo. Este nível deverá ser inferior à menor das cotas da tubagem de escape ou da cota superior da estrutura base (depósito). Deverá ter-se em consideração os fenómenos de imersão e pressão que poderão alterar esse mesmo nível. Como se pode ver na figura 7, a altura de curso,  $C_a$ , disponível da campânula no interior do depósito, terá de ser sempre superior à da secção superior,  $C_b$  ( $C_a > C_b$ ). Retira-se ainda que a altura do escape terá de ser sempre superior ao nível máximo do óleo, que terá de ser sempre inferior à altura do depósito. O escape terá ainda de ser inferior à altura da campânula.



*Figura 7 - Curso do gasómetro (pormenor de folga radial)*

A subida do nível do óleo devido à imersão da campânula e à pressão interna a que está sujeito o gás no interior da campânula deverão ser contempladas e compensadas através de contra-peso, contra-depósito, etc., para que o óleo nunca ultrapasse (extravase) o nível do depósito. A campânula ou depósito terá uma fixação de topo apoiado em rodas e respectivo contra-peso (figura 8) para garantir a verticalidade do seu curso e a existência de uma pressão interna da campânula estável e homogénea, garantindo por sua vez o correcto cálculo do volume escoado com a menor incerteza possível.

A campânula pode ser do tipo suspenso ou guiado, devendo o dispositivo de suspensão e/ou guiamento ser concebido e realizado, de modo a que o movimento vertical da campânula se efectue sem choques, nem atrito, potenciando a existência de uma pressão interna o mais constante possível. As superfícies, exterior e interior da campânula, deverão ter uma rugosidade superficial pequena, de modo a que o líquido retido seja mínimo. Pois o óleo criará um “filme” aderente à campânula na sua subida, cujo tempo de escoamento estará directamente relacionado com a viscosidade do óleo e com o acabamento/rugosidade interior e exterior da campânula.

A campânula é o elemento mais importante do sistema, sendo a sua forma determinante no funcionamento de todo o sistema. Para além das incertezas envolventes à sua secção e cilindridade, acabamento e esforços envolventes poderão determinar a fiabilidade do sistema.

Pretende-se o aproveitamento de uma estrutura semelhante ao gasómetro existente no Laboratório de Volumes do LCM / IPQ, cujo diâmetro interno é de 450 mm e a altura útil de 1 200 mm. O material da estrutura existente é um aço ao carbono que, por não ser um material resistente à corrosão, terá de sofrer alguns tratamentos e alterações para a sua utilização no modelo que se pretende conceber e desenvolver.

Para efeitos de dimensionamento inicial, considerou-se a campânula fabricada com chapa de 4 mm de espessura (incluindo o topo), 1 400 mm de altura e topo na forma de placa circular plana. O diâmetro externo considerado foi de 380 mm, admitindo que a dimensão considerada é suficiente para não permitir o extravasamento do óleo, o que implicou a definição de uma folga radial de 35 mm entre a campânula e a estrutura existente no LCM. O formato do topo da campânula deve ser tal que aproveite o máximo curso das colunas sem pôr em causa o guiamento e a colocação das sondas e a fixação do próprio depósito ao contra-peso.



Deste modo, o peso estimado da campânula será de:

$$P = m_{Camp1,4m} \cdot g$$

$$m_{Camp1,4m} = V_{Camp1,4m} \cdot \rho_{SS}$$

$$V_{Camp1,4m} = V_{Cil} + V_{Topo}$$

$$V_{Cil} = S_{Cil} \cdot l$$

$$V_{Topo} = S_{Topo} \cdot t$$

$$S_{Cil} = \pi \cdot r_e^2 - \pi \cdot r_i^2$$

$$e = t = r_e - r_i$$

$$S_{Topo} = \pi \cdot r_e^2$$

$$V_{Camp1,4m} = (\pi \cdot r_e^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot l + \pi \cdot r_e^2 \cdot t$$

Figura 8 – Estrutura existente no LCM

$$V_{Camp1,4m} = (\pi \times 0,190^2 - \pi \times (0,190 - 0,004)^2) \times 1,4 + \pi \times 0,190^2 \times 0,004 = 7,0686 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P = 7,0686 \times 10^{-3} \times 8000 \times 9,80665 = 554,554 \text{ N (aproximadamente 600 N)}$$

Com a aceleração da gravidade,  $g$  com a massa da campânula de 1,4 m de altura,  $m_{Camp1,4m}$ .

A pressão interna máxima que actua nas paredes internas da campânula, considerada para efeitos de dimensionamento da espessura da parede de pressão, decorre do resultado obtido para o valor do peso estimado anterior  $P$ , de acordo com a seguinte equação (3) considerar-se-á 5 500 Pa (55 mbar)<sup>1</sup>.

$$p = \frac{P}{A_S}$$

$$A_S = \pi \cdot r_i^2$$

$$p = \frac{600}{\pi \times (0,190 - 0,004)^2} = 5520,46 \text{ Pa}$$

<sup>1</sup> Apesar da unidade bar não pertencer ao SI, será utilizada na perspectiva dos pedidos de orçamentos, uma vez que é uma unidade mais vulgar em instrumentação industrial e autorizada legalmente [13].



### 3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

#### 3.1 Campânula – Espessuras e tipologias

No seguimento do ponto 2.3 o dimensionamento do gasómetro será efectuado considerando-o como um depósito pressurizado. Diversos tipos de topos podem ser previstos, nomeadamente:

- Toroidal/toriesférico:
  - Klöpper
    - DIN 28011 / EN 13445 com  $R_c = Diam.$  &  $R_k = 0,1 \times Diam.$
    - ASME F&D (*Flanged & Dished Heads*)  $R_c = Diam.$  &  $R_k = 0,06 \times Diam.$  (ASME 6 %)
  - Korbogen
    - DIN 28013 / EN 13445 com  $R_c = 0,8 \times Diam.$  &  $R_k = 0,154 \times Diam.$
- Hemisférica
- Semi-elíptica
- Calote esférica
- Plana
- Cónica
  - EN 13445 com 30° da vertical

Optou-se por utilizar o topo de tipo torisférico Klöpper, com cálculo típico de topo ASME 6 %, segundo o código ASME VIII Div. 1 [14] (ver figura 9).

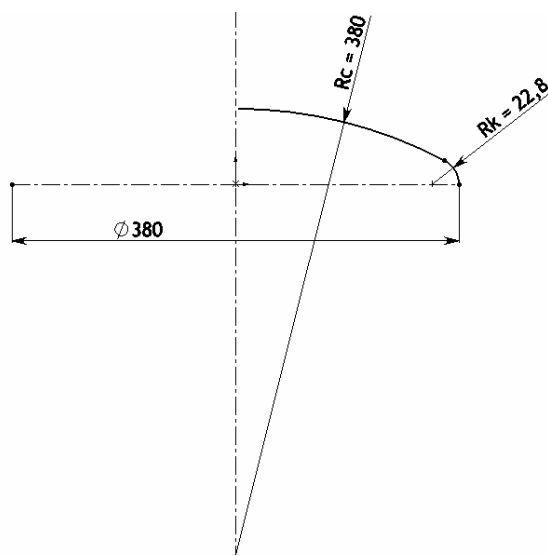


Figura 9 - Tipologia de topo toriesférico ASME 6 %.

Considerando que as ligações soldadas do reservatório, de tipo topo a topo, são executadas em V, com penetração total e com utilização de cobrejunta, a eficiência da soldadura  $e_{sol} = 0,9$  [14]. Considerou-se, para além da utilização de um aço inoxidável austenítico, uma espessura de corrosão, ( $t_{corrosão}$ ), de 1,6 mm, uma vez que as condições ambientais são controladas.

#### Topo toroidal:

$$T_{Final} = t_{Proj} + t_{enformação} + t_{corrosão}$$

$$t_{corrosão} = 1,6 \text{ mm}$$

$$t_{enformação} = 0,1 \times t_{Proj}$$

$$\begin{aligned}
t_{Proj} &= \frac{p \cdot D_{Camp} \cdot M_{tt}}{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot e_{sol} - 0,2 \cdot p} \\
M_{tt} &= \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{Rc}{Rk}} \right) = 1,77 \\
t_{Proj} &= \frac{5500 \times 0,380 \times 1,77}{2 \times 103,5 \times 10^6 \times 0,9 - 0,2 \times 5500} = 0,02 \text{ mm} \\
T_{Final} &= 0,02 + 0,002 + 1,6 = 1,622 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{4}$$

#### Parede cilíndrica de eixo vertical:

$$T_{Final} = t_{Proj} + t_{enformação} + t_{corrosão}$$

$$t_{corrosão} = 1,6 \text{ mm}$$

$$t_{enformação} = 0,1 \times t_{Proj}$$

$$\begin{aligned}
t_{Proj} &= \frac{p \cdot \frac{D_{Camp}}{2}}{\sigma_{adm} \cdot e_{sol} - 0,6 \cdot p} \\
t_{Proj} &= \frac{5500 \times 0,190}{103,5 \times 10^6 \times 0,9 - 0,6 \times 5500} = 0,01 \text{ mm} \\
T_{Final} &= 0,01 + 0,001 + 1,6 = 1,611 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{5}$$

Em virtude dos resultados obtidos, verificou-se que a diminuta pressão exercida na campânula permite concluir que a sua deformação devido à muito baixa pressão aplicada será desprezada.

Em virtude do exposto, e na tentativa de maximização do curso disponível, considerar-se-á o topo plano e um diâmetro exterior de 382 mm. Para o cálculo da espessura do topo, inicialmente considerada igual à da secção cilíndrica por razões de uniformidade, utilizou-se as fórmulas de cálculo para placas circulares sujeitas a esforço central [15,16].

#### Topo circular plano:

Para a condição de apoio simples da placa circular na parede do cilindro de eixo vertical obtêm-se as seguintes deformadas:

$$\begin{aligned}
\delta_{\max_{r=0}} &= \frac{P \cdot r_e^2}{16 \cdot \pi \cdot D} \cdot \frac{3 + \nu}{1 + \nu} \\
D &= \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \\
D &= \frac{190 \times 10^9 \times 0,003^3}{12 \times (1 - 0,29^2)} = 466,754 \\
\delta_{\max_{r=0}} &= \frac{600 \times 0,191^2}{16 \times \pi \times 466,754} \times \frac{3 + 0,29}{1 + 0,29} = 2,38 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{6}$$

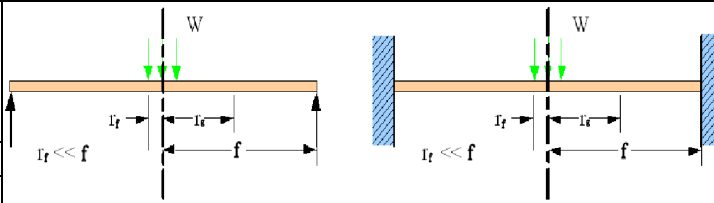
Conclui-se que, para o esforço de suspensão teórico máximo considerado (600 N, ponto 2.3), a deformada máxima é elevada, tendo em consideração a flecha máxima do topo e a consequente alteração de volume e sua incerteza associada ao volume interno da campânula.

Na tabela 4 consideram-se dois tipos de apoio para a placa circular, para diversas espessuras, de modo a calcular a flecha máxima para a carga e espessura de placa consideradas.

Com equação para placas encastradas,

$$\delta_{\max} = \frac{P \cdot r_e^2}{16 \cdot \pi \cdot D}$$

Tabela 4 - Flechas consoante a espessura e o tipo de apoio (simples e encastrado)

	PLACA CIRCULAR SUJEITA A ESFORÇO CENTRAL		
$r_e$ ( m )	0,191	Flechas máximas ( mm )	
$P$ ( N )	600		
$\nu$	0,29		
$E$ ( Pa )	$190 \times 10^9$		
$t$ ( mm )	3		
	4	2,38	0,93
	5	1,00	0,39
	6	0,51	0,20
	7	0,30	0,12
	8	0,19	0,07
	9	0,13	0,05
	10	0,09	0,04
	10	0,06	0,03

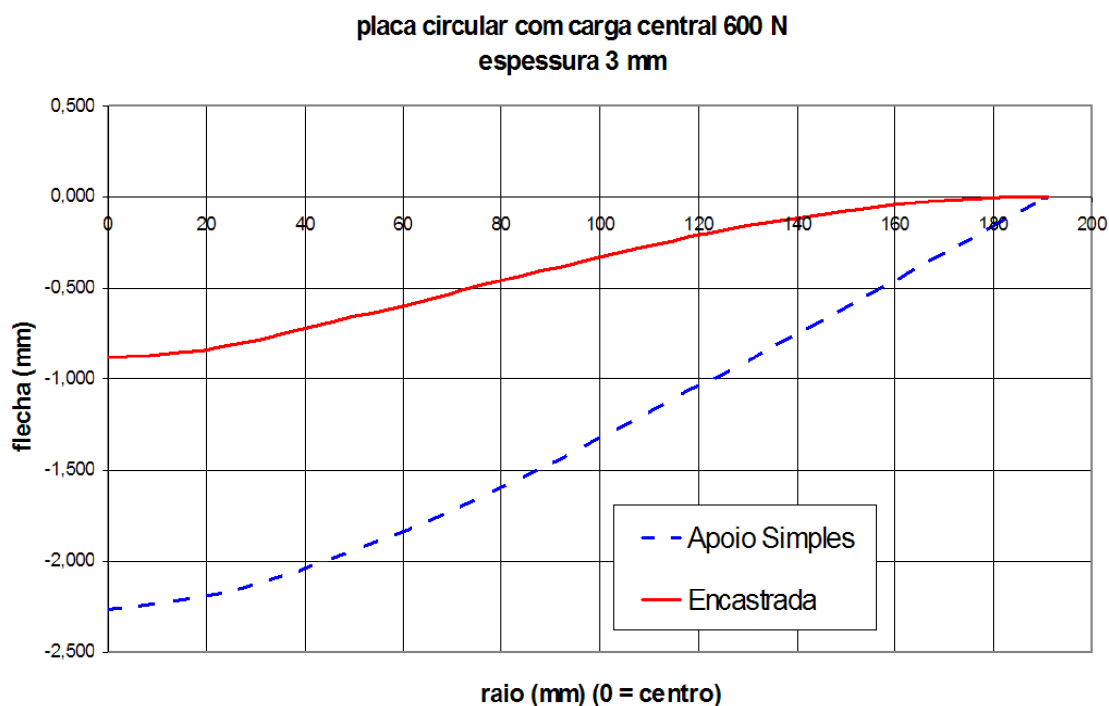


Figura 10 - Flechas para diferentes tipos de apoios

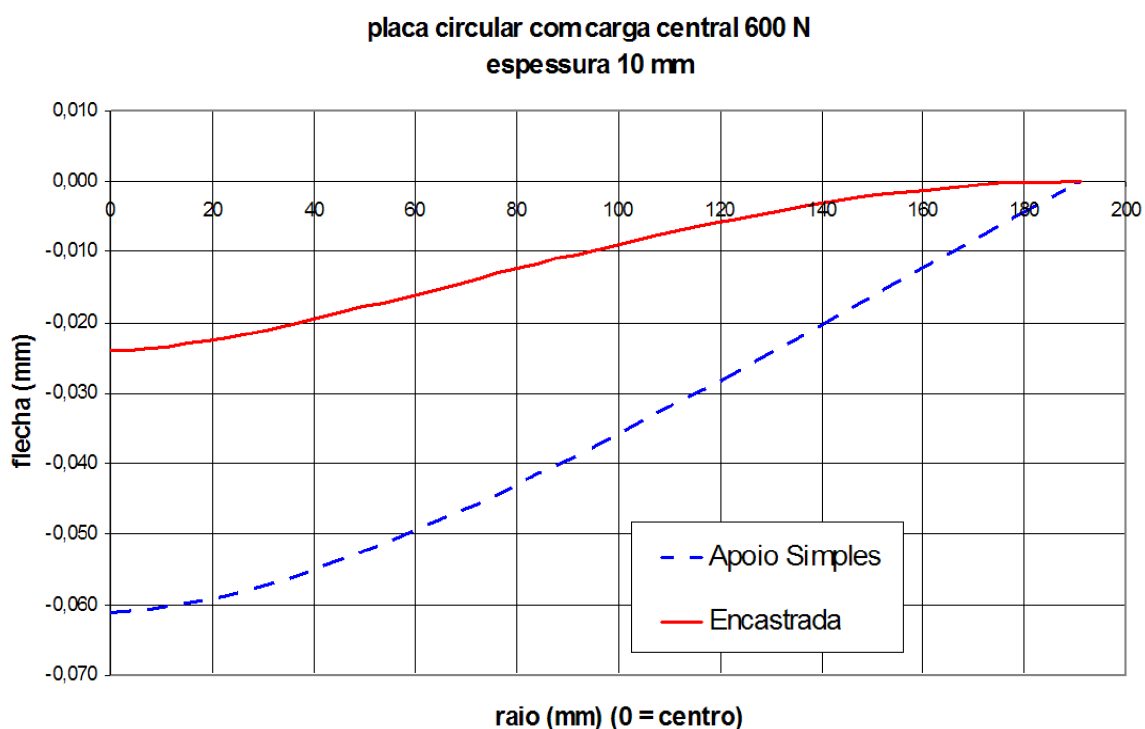


Figura 11 - Flechas para diferentes tipos de apoios

Apesar de o modelo real estar entre os dois tipos de apoio considerados, apoio simples e apoio encastrado, de modo a garantir uma incerteza reduzida, optou-se por escolher para projecto uma espessura de placa de 10 mm (figura 11).

#### Altura da campânula:

Esta é definida pelo presente depósito (caso não seja alterado), e pelas definições anteriormente descritas. No entanto, segue-se estudo da viabilidade de expandir o actual curso, e a valorização daí resultante no aumento de capacidade.

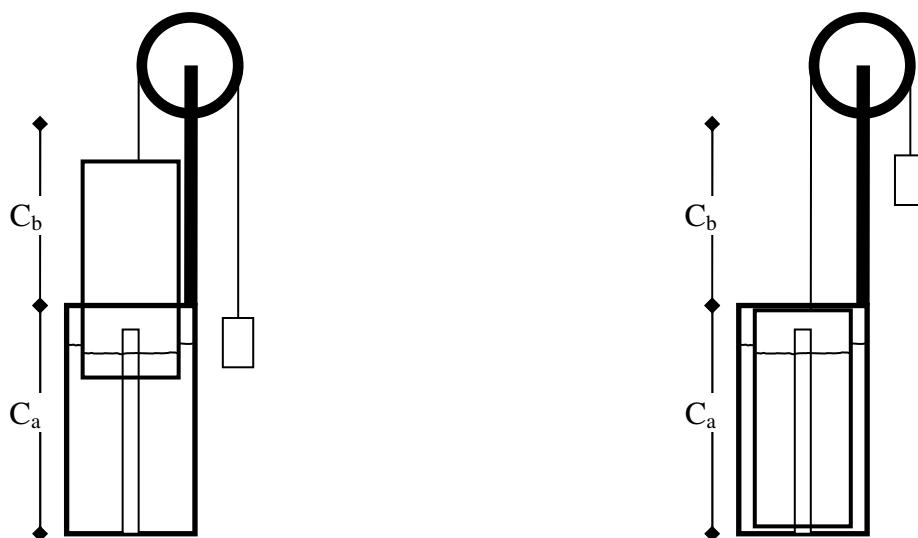


Figura 12 - a) Curso e posição superior da campânula      b) Posição inferior da campânula

Da figura 12 verifica-se que, apesar da dimensão da campânula ser preponderante, o que define a capacidade do gasómetro é o seu curso útil de imersão (uma vez que o diâmetro está limitado) devido ao facto deste ser sempre inferior à altura da campânula. Por razões de processo de funcionamento do gasómetro, ir-se-á considerar uma capacidade de pelo menos 10 % superior à exigida para calibração do respectivo modelo de contador conforme tabela 5.

*Tabela 5 - Volume requerido com margem adicional*

Contadores e Caudais máximos $Q$ (m <sup>3</sup> /s)		Tempo de ensaio $t_m$ (s)	Vol. requerido (+10 %)	
			(m <sup>3</sup> )	(dm <sup>3</sup> )
G 1.6	0,694 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,045 84	45,84
G 2.5	1,111 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,073 33	73,33
G 4	1,667 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,110 00	110,00
G 6	2,778 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,183 33	183,33
G10	4,444 x 10 <sup>-3</sup>	60	0,293 33	293,33

*Tabela 6 - Capacidade da campânula em litros: altura (útil) versus diâmetro interior (disponível)*

Distância radial entre campânula e depósito (mm)	43	40	37	34	31	28	25	22	19	16
Curso / Diâm. (mm)	358	364	370	376	382	388	394	400	406	412
<b>820</b>	82,54	85,33	88,17	91,05	93,98	96,95	99,98	103,04	106,16	109,32
<b>830</b>	83,55	86,37	89,24	<b>92,16</b>	95,13	98,14	101,20	104,30	107,45	110,65
<b>840</b>	84,55	87,41	90,32	<b>93,27</b>	96,27	99,32	102,41	105,56	108,75	111,99
<b>850</b>	85,56	88,45	91,39	<b>94,38</b>	97,42	100,50	103,63	106,81	110,04	113,32
<b>860</b>	86,57	89,49	92,47	<b>95,49</b>	98,56	101,68	104,85	108,07	111,34	114,65
<b>870</b>	87,57	90,53	93,54	<b>96,60</b>	99,71	102,87	106,07	109,33	112,63	115,99
<b>880</b>	88,58	91,57	94,62	<b>97,71</b>	100,86	104,05	107,29	110,58	113,93	117,32
<b>890</b>	89,59	92,62	95,69	<b>98,82</b>	102,00	105,23	108,51	111,84	115,22	118,65
<b>900</b>	90,59	93,66	96,77	<b>99,93</b>	103,15	106,41	109,73	113,10	116,52	119,98
<b>1 000</b>	100,66	104,06	107,52	<b>111,04</b>	114,61	118,24	121,92	125,66	129,46	133,32
<b>1 200</b>	120,79	124,87	129,03	<b>133,24</b>	137,53	141,88	146,31	150,80	155,35	159,98

Das tabelas 5 e 6, conclui-se que os contadores com a designação G1.6 e G2.5 são facilmente calibrados com a estrutura existente no LCM (figura 8). Para o contador G4 (tabela 5), a estrutura terá de ser expandida e para os contadores de tipo G6, ou superiores, a calibração está fora do alcance da actual estrutura. Pois, caso esta fosse expandida para tal dimensão, tornaria a relação altura versus diâmetro da estrutura demasiado elevada, tornando-a perigosa ou desproporcional (figura 13). O depósito actual tem uma altura útil máxima de 1 200 mm e o comprimento das barras de suporte superior é igual a 1 000 mm conforme figura 13 a). Na figura 13 b), visualiza-se a proposta de estrutura expandida, de modo a que o gasómetro possa calibrar contadores de tipo G4.

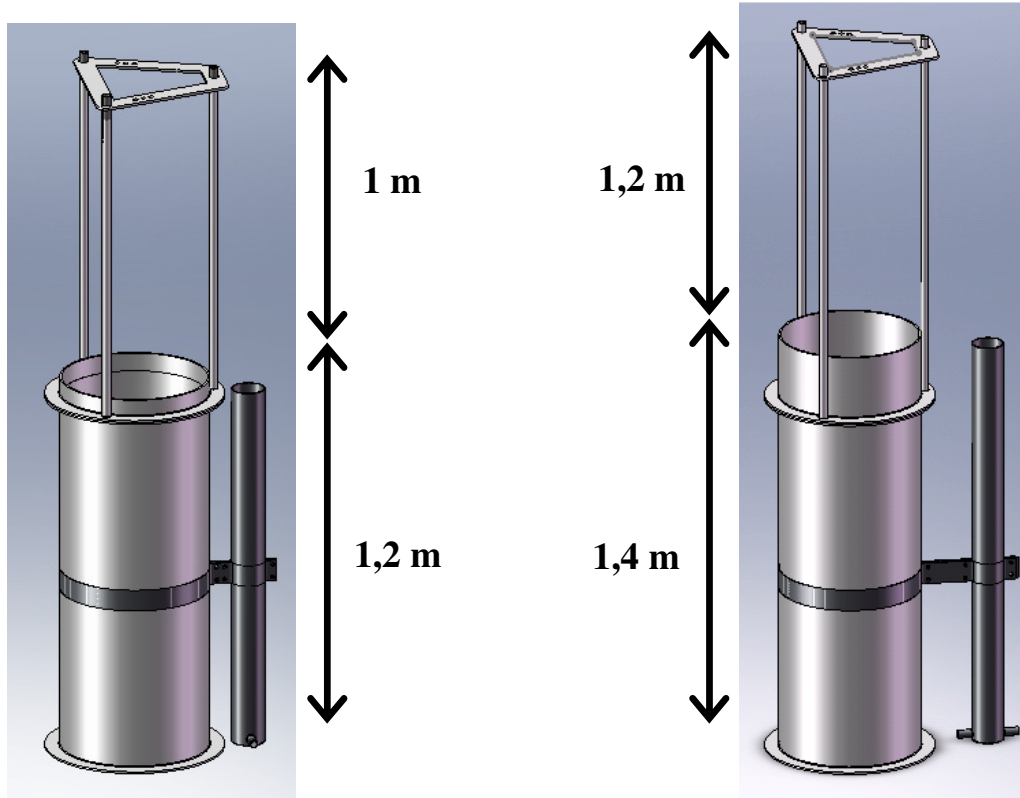


Figura 13 - a) Estrutura actual

b) Estrutura expandida

Concluimos então que a altura da campânula será de cerca de 1,2 m e 1,4 m para o modelo expandido. Da expressão (2), a massa e peso total da campânula (sem acessórios), na sua versão expandida, será igual a:

$$\begin{aligned}
 m_{Camp} &= ((\pi \cdot r_e^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot l + \pi \cdot r_e^2 \cdot t) \cdot \rho_{SS} \\
 m_{Camp} &= ((\pi \times 0,191^2 - \pi \times 0,188^2) \times 1,4 + \pi \times 0,191^2 \times 0,010) \times 8000 = 49,18 \text{ kg} \\
 P_{Camp} &= 49,18 \times 9,80665 = 482,242 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{7}$$

### 3.2 Dimensionamento do cabo

Para suspensão da campânula através das rodas ao contra-peso será utilizado um cabo de aço inoxidável de 19 fios (1+6/12), com 2,5 mm de diâmetro, conforme figura 14. Os factores e segurança devem variar entre 3 e 5, sendo o valor 5 aconselhado para tracção vertical [17]. A carga de ruptura mínima efectiva é de 5 kN.



Figura 14 - Cabo 19 fios

A deformação elástica do cabo é dada pela seguinte equação [17]:

$$\delta = \frac{C \cdot l_{cabo}}{A_m \cdot E} \quad (8)$$

$$A_m = F \cdot d^2$$

$C$  - Carga aplicada

$E$  - Módulo de elasticidade ( 130 GPa )

$A_m$  - Secção metálica

$F$  - Factor de construção do cabo ( 0,58 para 1x19 )

$l_{cabo}$  - Comprimento do cabo

$d$  - Diâmetro nominal do cabo

Considerando que a estrutura terá dois sistemas de elevação simétricos (figura 8), a carga máxima considerada de 600 N será dividida pelos dois cabos e, sabendo que cada roda/roldana/polia tem aproximadamente 400 mm de diâmetro, o comprimento de cabo necessário e a deformação a que estará sujeito será igual a (9):

Curso máximo x 2 + Perímetro da Roda / 2

$$A_m = 0,580 \times (2,5 \times 10^{-3})^2 = 3,625 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\delta = \frac{\frac{600}{2} \times \left( 2 \times 1,5 + \frac{2 \times \pi \times 0,2}{2} \right)}{3,625 \times 10^{-6} \times 130 \times 10^9} = 1,35 \text{ mm} \quad (9)$$

Este valor não influi na incerteza do posicionamento da campânula<sup>3</sup> e a carga de trabalho será inferior aos 600 N como mencionado anteriormente.

Assim, para cada cabo tem-se uma carga de rotura de 5 kN, e uma carga admissível de, 1000 N, segundo equação (10),

$$C_{adm} = \frac{C_{rot}}{FS} \quad (10)$$

$$C_{adm} = \frac{5000}{5} = 1000 \text{ N}$$

Ou seja de 2 000 N no total já que sistema prevê a utilização de dois cabos, para 600 N de carga máxima teórica, carga a efectuar caso o depósito seja totalmente apoiado num dos cabos, o que na realidade não sucede durante o funcionamento normal, mas que poderá suceder na montagem ou desmontagem do gasómetro, ou se um dos cabos inadvertidamente ceder.

<sup>3</sup> O alongamento do cabo não influencia a incerteza da posição da campânula, uma vez que será um posicionador electrónico externo que determinará a sua posição.

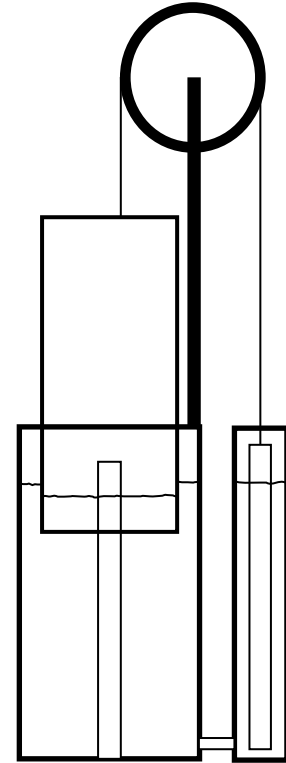
### 3.3 Depósito de contra-peso e contra-peso

O intuito do desenvolvimento e aplicação de um depósito de contra-peso (figura 15) tem várias vantagens. A principal é a de manter o nível do óleo constante no depósito do gasómetro, apesar da imersão da campânula, uma vez que os dois depósitos estarão ligados entre si e a área da secção do contra-peso será igual à área da secção anelar da campânula. O volume imergido da campânula corresponde a idêntico volume emergido do contra-peso.

Este sistema reduzirá ou balanceará também outro tipo de efeitos existentes, como por exemplo o do filme aderente de óleo à campânula e as forças resistentes ao movimento no óleo.

O contra-peso tem duas funções principais: a de manter a verticalidade do movimento da campânula e a de balancear a força exercida pela campânula no seu movimento, diminuindo a pressão de trabalho, o que inibe a saída do óleo do depósito do gasómetro. Este contra-peso, através da regulação de massas calibradas adicionadas ou subtraídas, permitirá o controlo de fluxo do escoamento, caso não exista outro controlo. A dimensão do mesmo será caracterizada pelo facto de ter pelo menos o mesmo comprimento do curso da campânula e da sua secção ser igual à da campânula. Relembrando o diâmetro exterior e espessura da campânula de 382 mm e 3 mm respectivamente:

$$\begin{aligned}
 S_{Cil} &= S_{CP} \\
 S_{Cil} &= \pi \cdot r_e^2 - \pi \cdot r_i^2 \\
 r_e - r_i &= e \\
 S_{CP} &= \pi \cdot r_{CP}^2 \\
 r_{CP} &= \sqrt{r_e^2 - (r_e - e)^2} \\
 r_{CP} &= \sqrt{\left(\frac{0,382}{2}\right)^2 - \left(\frac{0,382}{2} - 0,003\right)^2} = 33,72 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{11}$$



*Figura 15 - Aplicação de depósito de contra-peso*

Considerou-se uma liga de alumínio para o contra-peso, para que exista uma diferença de balanceamento suficiente para o accionamento gravimétrico da campânula. Temos então para uma altura de 1,4 m da campânula a correspondente altura do contra-peso e poderemos então encontrar o seu peso:

$$\begin{aligned}
 P_{CP} &= m_{CP} \cdot g \\
 m_{CP} &= V_{CP} \cdot \rho_{Al} \\
 V_{CP} &= S_{CP} \cdot l \\
 S_{CP} &= \pi \cdot r_{CP}^2 \\
 P_{CP} &= \pi \cdot r_{CP}^2 \cdot l \cdot \rho_{Al} \cdot g \\
 P_{CP} &= \pi \times (33,72 \times 10^{-3})^2 \times 1,4 \times 2700 \times 9,80665 = 132,415 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{12}$$



### 3.4 Colunas

Para as 3 colunas, que também funcionarão como guias verticais, será necessário calcular se não sofrerão encurvadura, no esforço sobre o qual estão sujeitas. As colunas são de secção circular, tubular, com diâmetro exterior de 26,88 mm e espessura de 4 mm (tubo ¾”) e com 1,5 metros de altura (ligeiramente superior ao da campânula). Ao peso teórico da estrutura suportada (600 N), adiciona-se o valor estimado do peso das rodas, do suporte superior das rodas e da fixação das colunas em 300 N, assim como do contra-peso no valor teórico de 300 N. O que perfaz um valor total teórico máximo de 1 200 N. Ou seja por coluna teremos uma carga máxima teórica de 400 N.

Para o cálculo da esbelteza,

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{l_{col}}{\rho_y} \\ \rho_y &= \sqrt{\frac{I}{A_{col}}} \\ I &= \frac{\pi}{4} \cdot (R^4 - r^4) \\ A_{col} &= \pi \cdot (R^2 - r^2) \\ \lambda &= \frac{l_{col}}{\sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot (R^4 - r^4)}} = 2 \cdot l_{col} \cdot \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{R^4 - r^4}} \\ \lambda &= 2 \times 1,5 \times \sqrt{\frac{(13,44 \times 10^{-3})^2 - (11,44 \times 10^{-3})^2}{(13,44 \times 10^{-3})^4 - (11,44 \times 10^{-3})^4}} \cong 170\end{aligned}\tag{13}$$

Considera-se que a base da coluna se encontra encastrada e que o seu topo, apesar de fixo por porca e contra porca, está em apoio simples. Pela fórmula de Euler e utilizando um factor de segurança de 2,7 [18]:

$$\begin{aligned}P_{adm} &= \frac{P_{cr}}{FS} \\ P_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{col}^2} \\ I &= \frac{\pi}{4} \cdot (R^4 - r^4) \\ P_{adm} &= \frac{1}{FS} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (R^4 - r^4)}{l_{col}^2} \\ P_{adm} &= \frac{1}{2,7} \times \frac{\pi^2 \times 190 \times 10^9 \times \frac{\pi}{4} \times ((13,44 \times 10^{-3})^4 - (11,44 \times 10^{-3})^4)}{1,5^2} = 3757,89 \text{ N}\end{aligned}\tag{14}$$

Tem-se um valor máximo admissível de aproximadamente 3 757 N por coluna, ou seja, muito superior aos 400 N de carga aplicada. De qualquer forma optou-se pela sua utilização devido à disponibilidade e custo reduzido pelo qual este material se caracteriza.

### 3.5 Imersão

Com a imersão da campânula dão-se diversos efeitos resultantes que serão abordados de seguida.

#### 3.5.1 Nível do óleo

Ao volume ocupado pela campânula imergida,  $V_{im}$ , irá verificar-se uma correspondente subida do nível do óleo. Para uma imersão de 1 m da secção cilíndrica da campânula,  $l_{i \rightarrow f}$ , tem-se, em conjunto com a expressão (2),

$$\begin{aligned} V_{im} &= S_{Cil} \cdot l_{i \rightarrow f} \\ V_{im} &= \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot l_{i \rightarrow f} \\ V_{im} &= \pi \times (0,191^2 - 0,188^2) \times 1 = 3,572 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ S_{Cil} &= 3,572 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

A variação do nível de óleo provocada pela imersão da campânula,  $h_{i \rightarrow f}$ , sem depósito de contra-peso, pela secção disponível do depósito do gasómetro, é igual:

$$\begin{aligned} h_{i \rightarrow f} &= \frac{V_{im}}{S_{Ol}} \\ S_{Ol} &= S_{Dep} - S_{Cil} \\ h_{i \rightarrow f} &= \frac{3,572 \times 10^{-3}}{\pi \times \left( \frac{0,450}{2} \right)^2 - 3,572 \times 10^{-3}} = 22,975 \text{ mm} \end{aligned} \quad (16)$$

De notar do cálculo anterior que, em qualquer posição que a campânula se encontre, esta está sempre mergulhada no líquido gasométrico.

Com o depósito de contra-peso instalado, a imersão da campânula resulta na emersão do contra-peso, de igual secção e vice-versa, mantendo assim o nível do depósito constante.

Devido à pressão resultante da queda gravimétrica da campânula, de (7), tem-se:

$$P_{Camp} = 49,18 \times 9,80665 = 482,242 \text{ N}$$

Com o peso do contra-peso da expressão (12), o peso resultante vem igual a:

$$\begin{aligned} p &= \frac{P_{Camp} - P_{CP}}{A_S} \\ A_S &= \pi \cdot r_i^2 \\ p &= \frac{482,242 - 132,415}{\pi \times 0,188^2} = 3150,56 \text{ Pa} \end{aligned} \quad (17)$$

A correspondente subida do óleo devida à pressão interna da campânula, por cada 100 Pa (1 mbar) de pressão, vem igual a:

$$p_{1mbar} = \rho_{\text{óleo}} \cdot g \cdot h_{1mbar}$$

$$h_{1mbar} = \frac{100}{880 \times 9,80665} = 11,59 \text{ mm} \quad (18)$$

Tem-se, para a pressão anteriormente calculada de 3 150 Pa, uma subida do óleo de 365,15 mm, sendo de notar que, na realidade, este valor será a diferença entre o nível interno do óleo sujeito à pressão interna calculada e o nível externo do mesmo, sujeito a pressão atmosférica, estando a altura efectiva exterior relacionada com a razão entre as secções (superfícies) de óleo correspondentes. Assim, com o depósito de contra-peso, tem-se a respectiva secção (superfície) a pressão atmosférica (com um diâmetro do depósito de contra-peso de 100 mm), a relação entre as alturas de nível do óleo:

$$p = \rho_{\text{óleo}} \cdot g \cdot (h_{p0} + h_p)$$

$$\Delta V_{p0} = \Delta V_p$$

$$\Delta V_{p0} = (S_{Dep} + S_{DCP} - S_{Cil} - S_{CP} - A_S) \cdot h_{p0}$$

$$\Delta V_p = A_S \cdot h_p \quad (19)$$

$$S_{Cil} = S_{CP}$$

$$\frac{h_{p0}}{h_p} = \frac{A_S}{S_{Dep} + S_{DCP} - 2 \cdot S_{CP} - A_S}$$

$$\frac{h_{p0}}{h_p} = \frac{0,188^2}{0,225^2 + 0,05^2 - 2 \times (33,72 \times 10^{-3})^2 - 0,188^2} = 2,279$$

Com (17) tem-se, os seguintes níveis de óleo,

$$\frac{h_{p0}}{h_p} = \frac{p}{\rho_{\text{óleo}} \cdot g \cdot h_p} - 1 = 2,279$$

$$h_p = \frac{3150,578}{880 \times 9,80665 \times (2,279 + 1)} = 111,34 \text{ mm} \quad (20)$$

$$h_{p0} = \frac{3150,578}{880 \times 9,80665 \times (2,279^{-1} + 1)} = 253,74 \text{ mm}$$

O desnível do óleo dentro da campânula, e a subida no seu exterior, resulta no risco deste transbordar do depósito, obrigando a colocar-se maior carga no contra-peso, derivando numa redução da pressão de trabalho.

### 3.5.2 Impulsão

Na descida da campânula existe uma actuação de várias forças sobre a superfície da mesma. A força de impulsão é a força exercida por um fluido num determinado corpo nele imerso, sendo igual a:

$$F_{buo} = \rho_{\text{óleo}} \cdot V_{im} \cdot g \quad (21)$$

Assim, para o presente caso, temos, por cada milímetro de imersão da campânula, a seguinte força de impulsão:

$$\begin{aligned}
V_{im} &= \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot l_{i \rightarrow f} \\
F_{buo} &= \rho_{\text{Óleo}} \cdot \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2) \cdot l_{i \rightarrow f} \cdot g \\
F_{buo} &= 880 \times \pi \times (0,191^2 - 0,188^2) \times 0,001 \times 9,80665 = 30,826 \times 10^{-3} \text{ N}
\end{aligned} \tag{22}$$

Para cerca de um metro de imersão teremos então 30,826 N.

Considerando a força inicial de impulsão nula no instante inicial, uma vez que a campânula terá sempre uma determinada secção imergida, esta força vai provocar uma alteração na força realizada pela campânula e resultante pressão de trabalho.

Para as condições anteriormente calculadas (7) e (12), o seu peso inicial, sem meios de compensação, é igual a:

$$P_{Camp} - P_{CP} = 482,242 - 132,415 = 349,827 \text{ N}$$

e final de (22) para 1 m de imersão de,

$$P_{Camp} - P_{CP} - F_{buo} = 482,242 - 132,415 - 360,826 = 319,001 \text{ N} \tag{23}$$

Equivalendo a que a pressão final seja de,

$$p = \frac{319,001}{\pi \times 0,188^2} = 2872,94 \text{ Pa} \tag{24}$$

Comparando com a pressão inicial de 3 150 Pa, a alteração do nível do depósito e da velocidade de escoamento implicam variações na pressão e velocidade de escoamento, que podem ser resolvidas através da aplicação de uma das hipóteses apresentadas em seguida:

a) Colocação de Espiral

O princípio de funcionamento baseia-se na colocação, em cada roda de ligação ao contra-peso, de uma espiral com peso envolvente conforme figura 16, calculada para que a cada posição (da respectiva imersão) o momento aplicado (força aplicada) se altere de modo a compensar ou equilibrar a força de impulsão. Esta situação não é de fácil aplicação na actual estrutura, além de que será necessária a verificação por meio da pressão do óleo ou do nível do óleo a sua real compensação. Possivelmente necessitará de ajuste durante os ensaios.

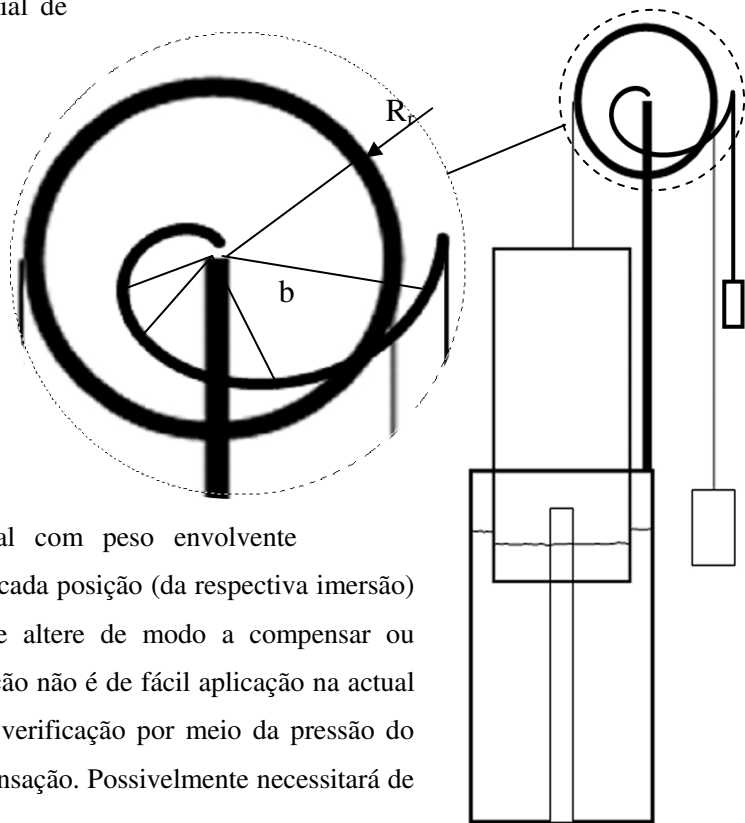


Figura 16 - Aplicação da espiral

O cálculo da espiral pode ser efectuado por

$$b \cdot P_{imp} = R_r \cdot \rho_{\text{Óleo}} \cdot V_{im} \cdot g \tag{25}$$

Sendo o equilíbrio do momento gerado pelo braço,  $b$  à tangente da espiral, pelo peso a ela fixo,  $P_{imp}$  será igual ao raio da roda,  $R_r$  pela força de impulsão a compensar. Em anexo pode encontrar-se a definição da forma da espiral e o cálculo detalhado.

A espiral tem de ser colocada em ambas as rodas para evitar desequilíbrio entre a força aplicada pelas mesmas, que possam corresponder a escorregamentos e consequentes alterações do movimento da campânula. Além de que, se a solução do contra-peso for adoptada, duplica o efeito da impulsão aplicado à campânula. Aconselha-se a sua produção em alumínio uma vez que é bastante provável a necessidade de ajuste da espiral durante os ensaios, sendo o alumínio um material mais dúctil e, por esse motivo, mais fácil de moldar.

b) Regulador de fluxo

A colocação em linha de um regulador de fluxo (figura 17) garantirá, um fluxo constante. Este poderá ser manual ou de controlo electrónico (PID, fuzzy, etc.). Não é garantida a pressão constante no sistema, mas desde que registada e/ou verificada poderemos garantir o correcto cálculo do volume transaccionado. Por essa razão o regulador deverá ser colocado a jusante do instrumento a calibrar, para que os diferenciais de pressão entre o instrumento e a campânula sejam tão reduzidos tanto quanto possível. Este equipamento evita que o fluxo seja controlado pela colocação de pesos adicionais no contra-peso.



*Figura 17 - Regulador de fluxo e símbolo pneumático*

c) Funcionamento invertido

Até este ponto todas as considerações de funcionamento tiveram em conta a origem do volume de calibração, o gasómetro, mas o modelo apresenta ainda a vantagem de poder funcionar de modo inverso, ou seja, o instrumento a calibrar é alimentado primeiro por fonte de caudal de ar estável (pressão e caudal constante) e esse mesmo volume é o que enche o gasómetro. Os resultados obtidos terão a mesma validade.

Devido às situações descritas anteriormente, conclui-se que, por uma questão de redundância, seria preferível ter os dois sistemas de regulação/compensação simultâneos. O sistema de depósito de contra-peso na compensação em que participa, irá também contribuir para melhor avaliação de outros fenómenos, tais como o da impulsão ou flutuatórios.



## 4. FABRICO E MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

### 4.1 Considerações sobre a campânula

a) A secção cilíndrica da campânula deve ser conhecida em todo o seu eixo, de modo a ser determinado com incerteza reduzida, o volume existente no seu interior. Para além do processo de fabrico controlado, em que se inclui o processo de soldadura, reveste-se de muita importância a especificação e verificação das tolerâncias dimensionais e geométricas e o controlo metrológico de determinação do volume da campânula. Uma vez que o volume interno da campânula será um dos factores mais importantes em todo o processo de utilização do gasómetro, dever-se-á dar mais importância ao conhecimento da sua forma, à homogeneidade dessa forma e em último lugar à tolerância do processo de produção da mesma.

Na tabela 7 mostra-se a influência da variação da cilindridade<sup>4</sup> da campânula no erro de cálculo do seu volume,

*Tabela 7 - Relação entre cilindridade e erro máximo no volume da campânula*

<b>Cilindridade (mm)</b>	<b>erro máx. em litros ( l = 1,2 m )</b>	
	<b>Ø382-376</b>	<b>%</b>
0,1	0,142	0,11
0,2	0,283	0,21
0,3	0,425	0,32
0,4	0,567	0,43
0,5	0,709	0,53
0,6	0,851	0,64
0,7	0,992	0,74
0,8	1,134	0,85
0,9	1,276	0,96
1,0	1,417	1,06

### b) Acabamento superficial, soldadura e revestimento

Como foi antes referido, o conhecimento da forma/secção cilíndrica é factor preponderante para o correcto funcionamento do cariz metrológico do gasómetro. Assim, o seu acabamento e a variação dimensional deverá ter em atenção a deformação que no processo de enformação e soldadura possa ocorrer devido às temperaturas atingidas. Pelo motivo indicado, o cordão de soldadura deve ser realizado de

<sup>4</sup> A tolerância geométrica definida como cilindridade, é a tolerância limitada por dois cilindros coaxiais, que distam entre si de uma distância definida. A tabela 7 serviu para definir a tolerância geométrica no desenho de fabrico da campânula (Anexo - desenhos).

preferência em atmosfera controlada e por intermédio do processo TIG ou MIG, de preferência realizado por máquina automática.

Ao acabamento superficial final<sup>5</sup>, feito por via de meios mecânicos, poderá ser necessário complementar com a utilização de betume ou resina, frequentemente designada de epoxy, ou película tipo PVD (*Physical Vapor Deposition*) ou ainda, tinta com base em micro fluorpolímeros (Teflon®), disponíveis no mercado com as seguintes marcas comerciais Hempel ou Dupont™.

O sistema de guiamento da campânula deverá ser feito através de rolos de material de baixa fricção tipo Teflon® PTFE, FEP ou PFA. Estes guiamientos serão fixos e com possibilidade de ajuste à estrutura da campânula, no seu topo e na sua base (ver desenhos de fabrico em anexo). O guiamento de topo deverá deslizar nas colunas superiores e o da base no próprio depósito do gasómetro, não necessitando de lubrificação uma vez que já que está mergulhado no óleo gasométrico. O guiamento do topo também não necessitará de lubrificação desde que as colunas tenham um acabamento suficiente ou lhe seja aplicada a película auto-lubrificante mencionada anteriormente.

O topo da campânula deverá possuir uma fixação com acessórios que permita a sua fácil desmontagem, tenha a capacidade de carga necessária e garanta os graus de liberdade suficientes para que a campânula desça livremente sem criar esforços radiais (perpendiculares à normal verticalidade do movimento). No contra-peso será aplicado um acessório que permita o ajuste em altura, solidário à superfície externa do gasómetro, sobretudo se for utilizado o depósito do contra-peso (ver figura 18 e desenho de conjunto em anexo).



Figura 18 - Acessórios de fixação de contra-peso e campânula

#### 4.2 Alternativas de construção

Tanto a campânula, como o depósito do contra-peso, ou as colunas superiores, deverão ser executadas a partir de materiais existentes no mercado, de modo a simplificar a sua construção.

O depósito do contra-peso poderá ser construído em tubo de aço inox AISI 304, de 4", comum no mercado; quanto à campânula, poder-se-á igualmente tecer a mesma consideração, embora o tubo de 15" não seja normalizado, nem vulgar encontrar no mercado, sobretudo em aço inox.

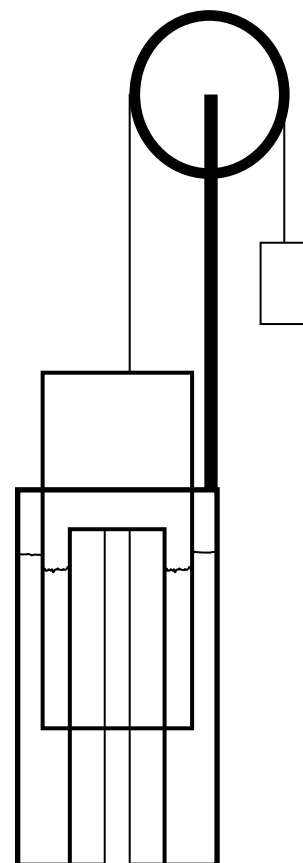


Figura 19 - Aplicação de cilindro interior

<sup>5</sup> Conforme anexo - Desenhos



Recordando o que foi dito num Capítulo anterior, as colunas poderão ser executadas em aço inox AISI 304, em tubagem  $\frac{3}{4}$ ", com espessura de 0,154" (~4 mm). Quaisquer alterações introduzidas como por exemplo na espessura da campânula implicarão a repetição de cálculos, do contra-peso, do fenómeno da imersão, do próprio peso e na pressão de trabalho, etc.

Uma alternativa à construção seria colocar um cilindro interior (figura 19). Esta opção teria diversas vantagens, como a poupança no óleo em cerca de 50 %, e segundo expressões (18) e (20) uma menor subida do óleo sujeito à pressão atmosférica, e naturalmente maximizar o curso disponível que está limitado a essa subida ou perigo de extravasamento do óleo no depósito.

### **4.3 Outros componentes**

#### **4.3.1 Óleo**

A principal característica pretendida para o óleo é a baixa viscosidade (entre 3 a 30 cSt), para permitir uma mais rápida fluidez e menores tensões viscosas na campânula; a massa volúmica deve ser superior a  $0,86 \text{ kg/dm}^3$  para que as alterações de nível sejam menores e a pressão de vapor baixa ou ponto de ignição e/ou ponto de ebulição elevado, para evitar a imiscibilidade com o ar. Prevê-se que sejam necessários 200 litros de óleo, ou 100 litros, na aplicação da alternativa de cilindro interior (figura 19), devendo ser não corrosivo para prolongamento da vida do gasómetro e dos seus componentes. Devido à possibilidade de contacto humano frequente, deve ser escolhido um óleo sem presença de aditivos ou aromatizantes nocivos para a saúde e a rigidez eléctrica deve ser elevada (isolante electricamente) para evitar situações de corrosão galvânica ou outras. Quanto à escolha entre lubrificantes minerais ou sintéticos, apesar da maior robustez em algumas propriedades dos lubrificantes sintéticos, a utilização destes ainda é muito moderada devido aos seus custos serem, actualmente, significativamente mais elevados do que os dos lubrificantes minerais (por impacto dos custos das matérias-primas, que são entre 5 a 14 vezes mais dispendiosas) [8]. As propriedades dos lubrificantes, melhoradas pela incorporação de bases sintéticas em vez de bases minerais, dizem respeito, sobretudo, os índices de viscosidade mais elevados, maior resistência à oxidação e menor volatilidade.

Por último, segundo o Decreto de Lei nº 88/1991 de 23 de Janeiro, está estipulado que ao utilizador de lubrificantes é-lhe vedado qualquer despejo, sendo obrigatória a sua entrega a um agente licenciado e quando movimente pelo menos 200 litros de lubrificantes por ano, o utilizador é obrigado a ter um registo oficial dos movimentos dos lubrificantes novos adquiridos e dos óleos usados, bem como dos agentes comerciais e quantidade de óleo usado que entregou.

#### **4.3.2 Tubagem**

Com o objectivo de se obter uma boa durabilidade, uma boa capacidade de escoamento e valores de perda de carga diminuta, optou-se por tubagem de  $\frac{3}{4}$ ", sempre que possível em aço inoxidável AISI 304. As válvulas a utilizar deverão ser de globo ( $\frac{1}{4}$  de volta), de agulha (multivolta), incorporando os necessários reguladores e filtros de ar e de óleo, possibilitando sempre que necessário a regulação de

funcionamento do sistema. Existe ainda a possibilidade de colocação de tubagem flexível (mais conhecida no mercado como “Heliflex”), para permitir a maneabilidade física do sistema.

#### 4.3.3 Bomba de ar

Um filtro colocado na entrada de ar da campânula diminui o número de partículas no seu interior. Estas, se em grande quantidade, poderão a longo prazo alterar as condições de funcionamento e a qualidade do óleo selante.

Não deverá ser utilizado um sistema de ar comprimido se não for utilizado um sistema de segurança, constituído de várias válvulas e reguladores de pressão, de forma a impossibilitar a introdução inusitada de pressões elevadas no sistema e a sua consequente destruição.

A bomba de ar também deverá ser livre de óleo para não alterar as propriedades do ar dentro da campânula ou do óleo selante. A sua capacidade deverá ser a suficiente para poder elevar a campânula balanceada pelo contra-peso e deverá conseguir debitar um caudal superior ao caudal de trabalho do gasómetro, ou seja, deverá conseguir encher a sua capacidade máxima num tempo inferior a 1 minuto. Assim, a pressão máxima de funcionamento da bomba, ou após regulador de pressão nela colocado, não deverá ser superior a 3 kPa (30 mbar) e o caudal deverá ser de pelo menos 100 dm<sup>3</sup>/min (6 m<sup>3</sup>/h). A pressão de trabalho deve ser de aproximadamente 150 mbar e ter um caudal de 9 m<sup>3</sup>/h, ou superior, se através de reguladores ou alimentação da mesma puderem ser reguladas estas capacidades em segurança.

Para efeitos experimentais, a campânula também poderá ser enchida manualmente com válvula de entrada aberta e exercendo ou forçando a descida do contra-peso. Outra das opções para enchimento ou bombagem poderão ser executadas por denominado ventilador de caixa.

#### 4.3.4 Instrumentação de medição de deslocamento da campânula

Não foram convencionados sistemas mecânicos de medição, tais como réguas graduadas ou tubos *bourdon*, mas poderão ser utilizados por motivos de redundância, para ensaios preliminares. Estes sistemas geralmente implicam leitura analógica e menor exactidão do que os sistemas de conversão ou leitura digital.

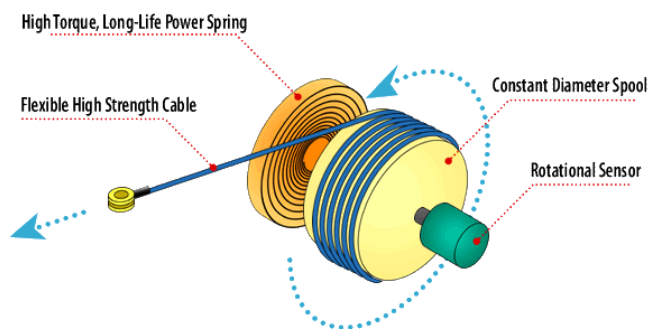
Nos sistemas com sinais electrónicos analógicos, estes deverão ter uma conversão analógico-digital mínima (*A/D Converter*), de 16-bit, uma vez que este tipo de amostragem (*sampling*) é distribuído por um alcance geralmente muito maior do que o pretendido. Esta relação define a resolução da leitura dos equipamentos.

A régua colocada no exterior do depósito tem o objectivo de obter a posição e o deslocamento da campânula, podendo ser de cariz electrónico, como indicado na figura 20. Este tipo de medição obriga à utilização de duas réguas, em posições opostas da campânula, já que a falta de verticalidade da deslocação poderá provocar leituras incorrectas durante a sua deslocação.



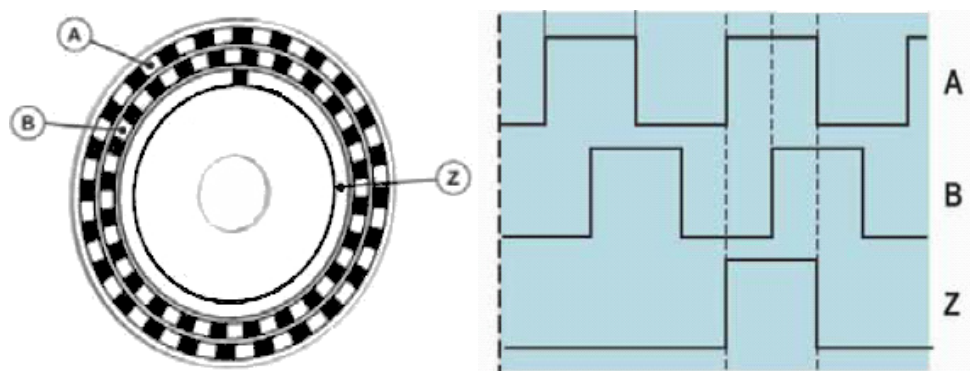
*Figura 20 - Exemplo de posicionador*

Por esse motivo, optou-se por um sistema de medição de *encoder* incremental linear, com cordão de aço (figura 21), aplicado, ao centro, no topo da campânula. A incerteza devida à falta de verticalidade do deslocamento ou da posição da campânula é calculada posteriormente, sendo que este sistema deverá ter uma resolução mínima de 0,1 mm e uma exactidão inferior a 0,4 mm.



*Figura 21 - Funcionamento de “encoder” linear*

O princípio de funcionamento baseia-se em dois discos desfasados, tal como mostrado na figura 22, denominados canal A e B. Para além da velocidade angular, este sistema permite gerar a informação do sentido da rotação. Por vezes é utilizado um terceiro disco para indicação da posição zero do eixo do *encoder*. São gerados impulsos eléctricos com a rotação do *encoder* e a exactidão deste depende em grande parte da divisão mínima dos discos A e B.



*Figura 22 - Funcionamento de “encoder” incremental*

O sistema de medição deverá ter uma leitura digital directa com entrada por impulsos (*Push-Pull*), para maior exactidão e sensibilidade do posicionamento da campânula. Este leitor, por sua vez, terá retransmissão com saída analógica (4 a 20 mA) para sistema de aquisição de dados.

#### 4.3.5 Medição da temperatura

Esta medição tem como objectivo a verificação da estabilização térmica, seja prévia ao funcionamento do sistema, seja durante a realização do mesmo, podendo ser contemplada para possíveis ajustes de volume segundo a equação de gases a aplicar. Podem ser registados valores do ambiente, do óleo, do gás no interior da campânula e no instrumento a calibrar.

Devido à diversidade de tecnologias existentes neste campo, como RTD's (*resistance temperature detectors*), termopares e termistores, entre outras, foram seleccionados PRT's (subcategoria dos RTD's), que devido às suas características de exactidão, normalização (EN 60751), são normalmente utilizados em sistemas de cariz metrológico. Os PRT's (*platinum resistance thermometers*), ou mais frequentemente PT100 ( $100\ \Omega$  a  $0\ ^\circ\text{C}$ ) de classe A, possuem duas vezes a exactidão definida pela anterior norma.

As sondas são em aço inoxidável (AISI 316 ou 316L), com o diâmetro e comprimento mínimo possível, já que a sua dimensão interfere com o tempo de resposta da sonda. Terão no seu topo um cabeçote normalizado de ligações e conexão roscada (ISO 228, G $\frac{1}{2}$ " ou G $\frac{1}{4}$ " ) para as ligações à campânula ou conduta como mostra a figura 23.



*Figura 23 - Tipo de cabeçotes para sondas de temperatura*

Para a aplicação em questão escolheu-se um tipo de sonda com um comprimento de 50 mm e diâmetro de 3 mm, Classe A, com uma exactidão mínima, a  $0\ ^\circ\text{C}$ , de  $0,15\ ^\circ\text{C}$  e de  $0,35\ ^\circ\text{C}$  entre  $-100$  a  $+100\ ^\circ\text{C}$  (poderão ser consideradas outra classes de exactidão, mas levando em conta o encarecimento dos equipamentos). Para ligações ao sistema de aquisição de dados, estas sondas necessitarão de conversor de sinal, também designado por transmissor, com entrada PT100 e saída 4 a 20 mA, a colocar no respectivo cabeçote ou bancada. Este transmissor deverá ter um alcance de conversão tão pequeno quanto possível, de preferência digital e programável, para maior flexibilidade de ajuste e calibração.

#### 4.3.6 Medição da pressão

As necessidades deste tipo de medição justificam-se pelas mesmas razões já mencionadas para a temperatura, para além de que poderá servir para verificação do funcionamento do sistema de equilíbrio da impulsão.

Os instrumentos de medição de pressão deverão, por si só, serem transmissores (saída 4 a 20 mA), para aquisição e alcance suficiente para a gama de trabalho (cerca de 100 mbar ou inferior de pressão relativa) e possuem ligação roscada (ISO 228, G $\frac{1}{2}$ ” ou G $\frac{1}{4}$ ”) para as ligações à campânula ou conduta. A sua exactidão poderá ir dos 0,5 a 0,1 % sendo o custo um factor predominante.

De preferência, o transmissor deverá ter a capacidade de ajuste e transmissão digital pelas razões já referidas na temperatura.

Nota 1: Tradicionalmente é utilizada a expressão transdutor, que designa um determinado dispositivo (sensor) usado em medição que faz corresponder a uma grandeza física de entrada (ex.: temperatura, pressão, etc.) uma grandeza eléctrica na saída. São exemplo os sensores piezoeléctrico, extensómetro, etc.

Com o evoluir da tecnologia e integração de componentes electrónicos com capacidade de conversão de sinais eléctricos, é comum a designação para transdutor quando a sonda em causa tem sinal eléctrico de saída potenciométrica (0 a 5 V o mais comum) e de transmissor, saída em corrente (4 a 20 mA o mais comum). A proliferação dos transmissores deve-se às vantagens de retransmissão que um sinal de corrente tem por vários equipamentos ou comprimento de cabos utilizado sem perda de sinal ao contrário dos transdutores. A saída inicial de 4 mA ainda tem a vantagem de auxiliar na verificação do funcionamento da sonda.

Nota 2: Nas tipologias existentes do sensor integrado no transmissor de pressão, seja piezoeléctrico, extensómetro, capacitivo, indutivo, electromagnético, etc. não é relevante para aplicação, uma vez que esta não contém fluidos corrosivos, viscosos, deflagrantes, e contém como único requisito a sua exactidão.

#### 4.3.7 Aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados deverá ter a possibilidade de adquirir todos os sinais analógicos e possibilitar a ligação directa do sinal digital do *encoder*, o que obriga a uma frequência de amostragem elevada (*sampling rate*), uma vez que admitindo uma frequência de 1 impulso a cada 0,1 mm, se a deslocação for de 1 m em 1 minuto, ocorrerão cerca de 167 impulsos por segundo. O sistema de aquisição deverá ter uma aplicação (*software*) para aquisição e análise e/ou exportação de dados para esse fim.

Foi seleccionado o sistema da *National Instruments*, pela sua versatilidade e pelo facto de desenvolver uma aplicação líder no ramo (*LabVIEW*). Foi encarada para a escolha do equipamento a possível expansibilidade de sensores e a possibilidade futura de controlo e automatização do sistema do gasómetro.

Para medições relativas com cálculo de caudais instantâneos ou velocidades de escoamento, será este sistema a controlar e gerir esta medição. Caso contrário dever-se-á incluir um cronómetro ou executar esta contagem no sistema de aquisição de dados.

#### **4.4 Caderno de encargos**

Foi elaborado um caderno de encargos (ver informação inclusa no anexo) descrevendo todas as exigências solicitadas, em pormenor, as condicionantes e as alternativas de construção, com o objectivo de ser utilizado como pedido de proposta e posterior acompanhamento, produção e montagem do sistema nas instalações do IPQ.

Neste caderno de encargos foram consideradas diversas características e princípios para a construção, como a possibilidade de montagem e desmontagem da campânula do gasómetro para verificação periódica e a utilização de materiais e peças ou acessórios existentes com o objectivo de diminuição de trabalho mecânico e de custos. A descrição de tratamentos e acabamentos que incrementem a durabilidade das peças que compõem o sistema e aumentem a fiabilidade foram também considerados.

## **5. METODOLOGIA DE ENSAIO E DE CALIBRAÇÃO**

Com a concepção e dimensionamento do gasómetro, é oportuno e necessário a definição de materiais, equipamentos e métodos de utilização dos mesmos, de modo que, acoplados ao gasómetro, se obtenham os resultados deles pretendidos e assim se desenvolva uma metodologia de ensaio e de calibração.

### **5.1 Objectivo**

Definir as condições de ensaios, determinar o volume da campânula, calibração e rastreabilidade dos equipamentos a utilizar, tais como os pormenores de instalação e calibração do sistema, da elaboração e cálculo de incertezas inerentes ao sistema e metodologia. Por último, apresenta-se o desenvolvimento de um aplicativo para aquisição de dados com os equipamentos seleccionados, descrevendo a melhor forma de obter os melhores resultados.

### **5.2 Premissas**

Para o desenvolvimento dos diversos elementos necessários ao início dos ensaios, como metodologia, cálculo de incertezas, etc. existe um número importante de definições ou axiomas que se estabelecem. Alguns destes serão desenvolvidos neste capítulo individualmente, justificando e interligando as diversas implicações entre eles, nos diversos componentes e metodologias a utilizar.

Assim em virtude de obtenção dos dados e condições de funcionamento pretendidas, listam-se as condições a estabelecer, a maior parte delas habituais nos laboratórios de calibração:

- A temperatura, humidade relativa e pressão atmosférica devem ser controladas e registadas durante as 24 horas que antecedem a realização do ensaio (denominado como período de estabilização de pré-ensaio), no local onde os ensaios e todos os equipamentos a utilizar, incluindo os equipamentos a calibrar, serão efectuados. Estes parâmetros não deverão ultrapassar as amplitudes de 20 a 25 °C, 950 a 1.050 mbar e 40 a 70 % h.r. e, durante o período de pré-ensaio, estas não deverão variar mais do que 10 % dessas amplitudes. Durante o ensaio, a variação dos parâmetros indicados não deve ser superior a 5 % das amplitudes correspondentes.
- A estrutura do gasómetro deverá ter uma rigidez suficiente (fixação e nivelamento) para que os dados de posicionamento da campânula e do nível do óleo não sejam colocados em questão.
- Como referido anteriormente, o ar utilizado, poderá ser o do ambiente se as características referidas no ponto anterior, forem cumpridas, ou deverá ser fornecido por uma fonte de baixa pressão (pressão de trabalho do gasómetro) e filtrado. Caso não existam condições aceitáveis de qualidade do ar, este deve ser obtido de fonte externa que cumpra os requisitos solicitados. Se o ar não for convenientemente filtrado introduzirá partículas no óleo prejudiciais à sua função, alterando-lhe as características. Durante os diversos estádios de funcionamento do gasómetro deverão ser executados testes de controlo de fugas e anuladas, caso se detectem.

Todos estes requisitos deverão ser alvo de gestão, revisão e rastreabilidade das medições apropriada para o Laboratório de ensaios e calibrações, conforme normas aplicáveis [19] e poderão contribuir para a incerteza total da medição.

### **5.3 Resumo das características dos equipamentos seleccionados**

No ponto 5.2, foram especificadas características e funcionalidades necessárias dos instrumentos de medição. Todos os equipamentos deverão ser convenientemente calibrados e as incertezas dessas calibrações serão envolvidas na análise da incerteza do gasómetro.

Na metodologia dos ensaios e calibrações será desenvolvido a colocação desses instrumentos.

#### *a) Medição de temperatura*

Como referido no ponto 4.3.4, devido a exactidão requerida a solução deverá corresponder a um RTD (*Resistance Temperature Detector* – sensor de temperatura por resistência), mais propriamente uma PT100 referente à norma IEC 60751:1995 / EN 60751:1996 com  $0,385 \Omega/^{\circ}\text{K}$ . Os equipamentos de leitura deverão ter a capacidade de leitura até à centésima de grau Celsius (resolução de  $0,01^{\circ}\text{C}$ ) e um intervalo de medição de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ .

#### *b) Medição de pressão*

De modo a reduzir os erros e incertezas inerentes às duas sondas, poderá optar-se por uma sonda de medição de pressão diferencial, cujo propósito principal será medir a diferença entre as pressões na campânula e no equipamento a calibrar. Nos ensaios a realizar para efeito de elaboração de testes e definição das condições de funcionamento, esta sonda poderá medir a diferença entre a pressão da campânula e a pressão atmosférica (ou seja a pressão relativa dentro desta). Com este método reduz-se a amplitude de medição das sondas de pressão, podendo deste modo diminuir significativamente as incertezas associadas.

Para um sensor de pressão relativa, a gama de medição necessária será 5 kPa (ou 50 mbar), com uma resolução de 5 Pa.

#### *c) Medição da posição e do deslocamento*

Como definido anteriormente, a medição do deslocamento deverá ser realizada através de um *encoder* incremental linear, por cordão de aço, apresentando as diversas vantagens já discutidas anteriormente. O equipamento tem uma resolução de 0,1 mm (10 pulsos por mm) e o curso necessário será de 1,5 m <sup>6</sup>.

#### *d) Sistema de aquisição de dados*

Este sistema, incluindo os transdutores ou transmissores necessários para o seu funcionamento, deverá ter características de exactidão e conversão de sinal suficientemente adequadas à utilização pretendida no gasómetro. Os instrumentos deverão ser calibrados na mesma forma em que são utilizados (mesmo tipo de ligações, mesmo aplicativo, etc.)

Todos os equipamentos eléctricos e electrónicos deverão cumprir a directiva comunitária e estar em conformidade com normas relativas à compatibilidade electromagnética: 2004/108/EC e IEC/EN 61000

---

<sup>6</sup> Os intervalos de medição dos equipamentos deverão necessariamente abranger os valores reais de medição.



e EN 55022. Além disso, deverá ser utilizada cablagem para ligação dos componentes apropriada. Esta cablagem e todas as condições de utilização da aplicação do gasómetro deverão ser utilizados na calibração destes equipamentos.

#### e) Óleo

Em relação às propriedades anteriormente discutidas. Deve-se ter em conta que as propriedades da variação da viscosidade e da massa volúmica com a temperatura poderão alterar as condições dos ensaios e da estabilidade do sistema a longo prazo.

Para contemplar uma das questões mais predominantes e indeterminadas do sistema, ter-se-á de elaborar uma série de requisitos específicos à utilização pretendida, de modo a que através da evidência objectiva se possa validar as preposições a definir [19]:

- as características e propriedades físicas da campânula são iguais no interior e exterior da secção cilíndrica da mesma, ou seja o "escorrimento" do óleo dá-se nas mesmas condições em ambas as superfícies;
- o filme de óleo poderá ser, em qualquer instante, calculado através da pressão interna da campânula, uma vez que, por definição de sistema gravimétrico, esse filme contribui para o peso total da campânula, que por sua vez se reflecte na pressão interna da mesma. A metodologia a aplicar deverá estipular um tempo definido e fixo para o início do ensaio após a elevação da campânula à sua posição inicial, convertendo-se um erro possivelmente aleatório em erro sistemático e avaliável com maior rigor, diminuindo assim a sua incerteza.

De notar que, caso os ensaios do gasómetro se executem de modo invertido, esta questão é reduzida às propriedades do óleo anteriormente discutidas e ao volume que este representa no interior da campânula. Este volume pode ser quantificado através da equação (26) [20], aplicada ao caso específico:

$$V_{\text{Óleo}} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot DI \cdot h_{i \rightarrow f}^{3/2} \cdot \left[ \frac{v_k \cdot \frac{\Delta h_{i \rightarrow f}}{\Delta t}}{g \cdot \frac{\Delta h_{i \rightarrow f}}{\Delta t} \cdot (T_{esc} + \Delta t) + g \cdot h_{i \rightarrow f}} \right]^{1/2} \quad (26)$$

Com o tempo de escoamento do óleo,  $T_{esc}$  e o intervalo de tempo da subida da campânula,  $\Delta t$ .

No funcionamento normal, o filme é de reduzido montante, podendo ser desprezável caso se obtenha um tempo razoável de espera para o início do ensaio.

### 5.4 Metodologia de calibração do gasómetro

A calibração é definida através de um conjunto de operações de comparação de um dado instrumento e uma referência padronizada sob condições determinadas, com o objectivo do ajuste das características deste para com a referência normalizada. Permite confirmar o desempenho e a consistência dos valores medidos com o seu historial [21]. O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores da mensuranda para as indicações como a determinação das correcções a serem aplicadas (ajuste do erro obtido). Uma calibração pode, também, determinar outras propriedades

metrológicas como o efeito das grandezas que a influenciam. O resultado de uma calibração pode ser registado num documento, geralmente denominado por certificado de calibração [5].

As calibrações, verificações e ensaios que deverão anteceder a colocação em funcionamento do gasómetro são:

- Verificar a estanquicidade do equipamento, o tempo de abertura e de fecho de válvulas, assim como a posição dos sistemas de regulação.

- A estrutura do gasómetro deve ser nivelada através do ajuste dos seus apoios para garantir a verticalidade da deslocação da campânula, do nível do óleo, etc.

- A instrumentação deverá ser inicialmente e periodicamente verificada através de calibração com a análise dos certificados de calibração.

- O óleo como elemento essencial no funcionamento do gasómetro deve ser verificado as suas características, nomeadamente a sua massa volúmica. Também deve-se verificar a sua viscosidade e condutividade térmica de modo a que se mantenham inalteradas durante o funcionamento do gasómetro. Ainda como parte integrante do plano de verificações o óleo deverá periodicamente ser filtrado para eliminar alterações do seu comportamento devido a impurezas. Existem no mercado equipamentos próprios para esse fim que devem ser utilizados. Caso se verifiquem alterações significativas destas características de modo que ultrapassem as definidas para o seu funcionamento, o óleo deve ser trocado.

- A campânula, como o elemento mais importante no funcionamento do gasómetro, deverá ser verificada e calibrada na determinação do seu volume interno. Foram considerados dois sistemas básicos de verificação de forma/volume, ambos com padrões primários ou a eles directamente rastreáveis.

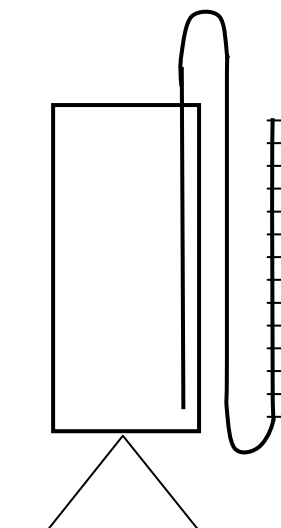
#### **a) Dimensional**

Com um padrão de comprimento, faz-se a verificação da sua forma interior e exterior ao longo da altura da campânula (eixo longitudinal), podendo a metodologia ser manual ou mecânica (ex.: colocação da campânula num torno), ou por intermédio de um sistema automático de verificação dimensional (ex: mesas ou robôs de verificação dimensional - CMM).

#### **b) Gravimétrica**

Simbolicamente, como é mostrado na figura 24, através de sequência de enchimento de volumes consecutivos e padronizados, verificar-se-á através de esquematização e com a medição gravimétrica, a cada passo de enchimento, a secção interior da campânula.

À instrumentação será necessária a respectiva calibração inicial e periódica, com vista à verificação das respectivas exactidões e incertezas. Também deverá ser verificada a validação da ferramenta de software de aquisição de dados.



*Figura 24 - Representação simbólica de calibração gravimétrica com a campânula invertida*

## 5.5 Teoria da medição

A realização de uma medição é a quantificação de determinada grandeza segundo uma escala definida como padrão. As propriedades desta quantificação e a relação com um valor verdadeiro são do âmbito da Metrologia.

### 5.5.1 Definição de erro

O problema básico de qualquer experiência quantitativa é a identificação do valor verdadeiro da grandeza medida. A melhoria do sistema de medição resulta na aproximação do valor medido ao valor verdadeiro sem nunca o alcançar [22] como o paradoxo de *Zeno*. Acrescenta-se ainda, o facto de que qualquer meio de medição está sujeito a uma distribuição estatística onde se encontra o valor verdadeiro com determinado grau de confiança (Princípio de incerteza de *Heisenberg*).

O erro é a diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência [5,23].

#### *a) Erros sistemáticos*

Resultam de condições e procedimentos que causam erros consistentes, que são repetidos sempre que a medição é realizada. Estes poderão ter várias origens entre as quais o envelhecimento do sistema. Outros erros sistemáticos são por exemplo as condições do observador, como a paralaxe, que pode ser repetido indefinidamente. A calibração frequente poderá dar uma indicação da evolução dos erros sistemáticos. Neste caso é de sobremaneira importante que os ensaios se executem dentro do possível nas condições semelhantes (temperatura, pressão, posição, etc.), ou tão dentro das condições iniciais estabelecidas quanto possível.

#### *b) Erros aleatórios*

Estes são erros que ocorrem em todas as medições e são de natureza não-determinística. Poderão ser caracterizados por falha na determinação da sua origem e só poderão ser determinados por análise estatística.

#### *c) Erros ilegítimos*

Poderão aparecer devido à utilização indevida do sistema, ao não cumprimento das definições iniciais, da metodologia estabelecida ou à falta destas, em determinadas situações pontuais, como por exemplo a leitura em escalas, a interpolação utilizada na sua leitura ou na de tabelas. Nos diversos ensaios a executar poderão ser detectados e deverão ser eliminados, não sendo considerados neste documento.

#### *d) Erros de balanceamento*

Mais comuns nos sistemas de medição com sinais eléctricos, deverão ser utilizados sistemas de balanceamento, manual ou automático, nestes equipamentos. Basicamente, um sistema de balanceamento permite a introdução e contínua comparação entre os sinais de leitura e um sinal de referência, permitindo desta forma a redução deste tipo de erro, que ocorre devido a diversas origens, entre as quais “ruído” ou interferências electromagnéticas. É uma forma de obter uma maior redundância dos sinais obtidos.

#### *e) Erros de ruído*

Complementar ao anterior, os erros de ruído podem surgir de diversas formas: eléctricas ou mecânicas. Geralmente têm uma forma aleatória mas identificadas na sua origem, sendo geradas pelo próprio funcionamento do sistema e intrínsecas ao próprio. Poderão ser eliminados ou reduzidos nos ensaios preliminares e moldar a metodologia de funcionamento.

#### 5.5.2 Definição e cálculo de incerteza

Até uma certa altura, na Metrologia o erro foi considerado o aspecto mais importante da medição, mas após a correcção do mesmo restaria a dúvida quanto à incerteza da sua aplicação [24]. Assim, a quantificação e definição do conceito dessa incerteza e da influência da mesma na medição tem sido o alvo primordial da Metrologia. Esta é um parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a uma mensuranda [5].

A incerteza de medição compreende, em geral, muitas componentes. Algumas incertezas associadas às componentes podem ser estimadas com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios-padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios-padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades adoptadas, baseadas na experiência ou em outras informações relevantes. Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor da mensuranda e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles que resultam dos erros sistemáticos, contribuem para a dispersão.

O GUM - Guia para expressão da incerteza de medição [24] estabelece os princípios e requisitos de avaliação da incerteza de medição na calibração e o modo de a estimar. Este é de aceitação geral e veio harmonizar as diferentes metodologias existentes [24]. Na sua essência, o GUM reitera o cálculo do erro na distribuição clássica de Gauss. Desta forma, todos os erros assumem um desvio aleatório, incluindo os erros sistemáticos inevitáveis.

Hoje em dia existem processos como método de Monte Carlo, que se baseia em algoritmos computacionais estocásticos para cálculo de algumas incertezas. O método de Monte Carlo foi desenvolvido em 1940 pelos físicos que laboravam no projecto Manhattan (da bomba atómica), no Laboratório de Los Alamos. Esta metodologia complementariza o cálculo da incerteza do GUM. Embora fora do âmbito deste trabalho, as principais questões em relação ao GUM são [25]: “Deveremos tratar os erros sistemáticos desconhecidos como constantes ou variáveis aleatórias?” “A propagação do erro deverá ser restrita a valores iguais resultantes de medições repetidas das variáveis envolvidas?”

O GUM, para além da expressão da incerteza, define a necessidade de especificar-se um intervalo do resultado da medição, que pode ser esperado da distribuição de valores abrangendo os resultados que podem ser razoavelmente atribuídos à mensuranda. A expressão da incerteza na medição deverá ser capaz de definir esse intervalo com uma probabilidade expandida, ou intervalo de expansão, que corresponda ao requerido [24].

A partir da definição da equação de estado [26], a mensuranda ou grandeza de saída  $Y$ , que depende de um certo número de grandezas de entrada  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), pode ser escrita de acordo com a seguinte função,

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (27)$$

A equação representa o modelo ou o procedimento da medição, pode ser uma expressão analítica e pode conter factores de correcção de erros sistemáticos. Pode ser obtida experimentalmente, ou ser simplesmente um algoritmo calculado numericamente. Uma estimativa da mensuranda  $Y$ , estimativa da grandeza de saída  $y$ , é obtida da equação (27) usando as melhores estimativas das grandezas de entrada  $x_i$  para os valores de  $X_i$ .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (28)$$

A incerteza-padrão da medição é o desvio-padrão  $u(y)$  da estimativa do resultado da medição  $y$ , sendo o desvio-padrão da mensuranda  $Y$ . É calculada através das estimativas  $x_i$  das grandezas de entrada  $X_i$  e das incertezas associadas  $u(x_i)$ .

a) Avaliação dos componentes da incerteza: **Tipo A**

A avaliação da incerteza-padrão do tipo A pode ser baseada num método de análise de dados estatístico válido, como o cálculo do desvio-padrão da média de uma série de observações independentes, na aproximação dos dados obtidos para estimativa dos parâmetros da curva e do seu desvio-padrão elaborando uma análise de variância, para identificar e quantificar os efeitos aleatórios em determinado tipo de medições, utiliza-se o método dos mínimos quadrados.

Média aritmética:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n q_j \quad (29)$$

Desvio-padrão experimental:

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (30)$$

Desvio-padrão experimental da média:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q)}{n} \quad (31)$$

Incerteza-padrão:

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (32)$$

Se o número de observações for menor do que dez ( $n < 10$ ), a última equação deverá ser reconsiderada.

b) Avaliação dos componentes da incerteza: **Tipo B**

A avaliação da incerteza-padrão do tipo B é baseada em meios que não o da análise estatística de séries de observações. Num conhecimento ou apreciação científica, dispondo de toda a informação disponível sobre a variabilidade das grandezas. Esta poderá conter experiências anteriores, conhecimento da variabilidade e das propriedades da medição e dos instrumentos, especificações, calibrações e incertezas

relacionadas com tabelas de valores ou constantes. Generalizando, a incerteza é obtida de fonte externa ou de uma distribuição adoptada.

Casos de incerteza do tipo B:

i) Valor único da grandeza de entrada  $X_i$ , exemplo valor de referência. Deverá ser utilizada incerteza caso esta seja documentada.

ii) Se for adoptada uma distribuição de probabilidade para a grandeza de entrada  $X_i$ , baseada em teoria ou na experiência, então a sua estimativa e o valor do desvio-padrão serão respectivamente,  $x_i$  e  $u(x_i)$ .

iii) Se forem estimadas tolerâncias para a grandeza de entrada  $X_i$ , sejam dadas pela especificação de um fabricante de um instrumento de medição, um alcance, de uma massa volúmica de probabilidade constante, etc.

A conversão de uma incerteza referenciada na bibliografia, numa especificação, num certificado de calibração, etc., que define um intervalo de expansão mencionado, com 95 ou 99 %, para uma incerteza-padrão, considerando a incerteza referenciada como uma distribuição de probabilidade normal (*Gauss*), tivesse sido utilizada para a calcular (a não ser que indicado de outra forma) e dividindo-a pelo factor apropriado para a respectiva distribuição. Estes factores são de 1,960 e de 2,576 para os dois intervalos de expansão mencionados (95 e 99%).

Na figura 25,  $\mu_i$  é a estimativa da média da distribuição, e as áreas em sombreado representam mais ou menos uma incerteza-padrão  $u$  da média. Para uma distribuição normal,  $\pm u$  caracteriza cerca de 68 % da distribuição, para a distribuição uniforme,  $\pm u$  caracteriza cerca de 58 % da distribuição; para a distribuição triangular,  $\pm u$  caracteriza cerca de 65 % da distribuição.

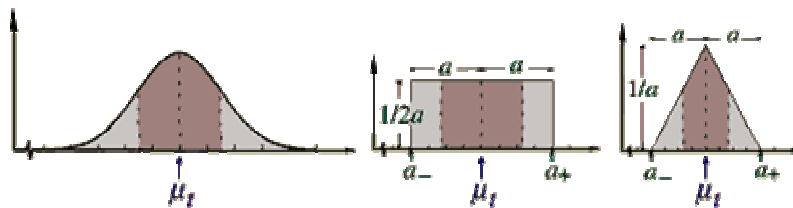


Figura 25 - Distribuição normal (*Gauss*), rectangular e triangular.

A distribuição rectangular é utilizada quando o conhecimento da grandeza de entrada é insuficiente, como nos casos de estabelecimento de limites ou tolerâncias. Mas, caso se reconheça que esses valores da grandeza são mais prováveis no centro do que nos limites, então dever-se-á utilizar a distribuição triangular ou normal.

### c) Definição e cálculo da incerteza-padrão

Para grandezas não relacionadas entre si, o quadrado da incerteza-padrão pode ser calculado a partir de (33):

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad (33)$$

Com as estimativas das grandezas de saída  $u_i(y)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) contribuindo para a incerteza-padrão,

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i) \quad (34)$$

O quadrado da incerteza combinada é igual a (35)

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u_i^2(x) \quad (35)$$

Com os coeficientes de sensibilidade,

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (36)$$

que representam o peso que cada estimativa da incerteza,  $u(x_i)$  de cada grandeza de entrada estimada,  $x_i$  tem na incerteza associada da estimativa,  $y$ .

Caso os valores das estimativas das grandezas de entrada sejam retirados de tabelas, ou não existam relações matemáticas de onde se possam obter os coeficientes de sensibilidade, dever-se-á utilizar uma interpolação apropriada e respectiva incerteza, ou assumir o coeficiente segundo expressão (37).

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \quad (37)$$

A incerteza de uma medição deve ser apresentada como incerteza expandida [24],  $U$ , obtida pela multiplicação da incerteza combinada pelo factor de expansão,  $k$

$$U = k \cdot u(y) \quad (38)$$

No caso de a distribuição atribuída à mensuranda ser uma distribuição de Gauss, este factor, para um intervalo de expansão de 95 %, será de  $k = 2$ . Caso assim não seja, poder-se-á calcular os graus de liberdade efectivos da incerteza-padrão pela fórmula de *Welch-Satterthwaite* [24] e aplicar a distribuição *t* de *Student* para obter o valor do factor de expansão.

$$v_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{c_i^4 \cdot u_i^4(y)}{v_i}} \quad (39)$$

#### **d) Procedimento da análise da incerteza**

- i) Definição da mensuranda
- ii) Formulação da equação de estado ou função matemática da dependência da grandeza de saída  $Y$  das grandezas de entradas  $X_i$ ,

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (40)$$

- iii) Identificação das componentes de incerteza de medição

Uma parte fundamental da análise da incerteza consiste na identificação das suas fontes. Estas contribuem de várias formas, de origem estatística (tipo A) ou por outros meios (tipo B), de modo que esta possa ser expressa. As componentes de incerteza originadas por diversas fontes [24] (ver tabela 8).

Tabela 8 - Fontes de incerteza

Referência	Componentes da Incerteza
a	Definição incompleta da mensuranda
b	Realização imperfeita da definição da mensuranda
c	Amostragem não representativa da definição da mensuranda
d	Influência do conhecimento deficiente das condições ambientais na mensuranda
e	Erros de leitura de instrumentos analógicos
f	Resolução finita dos instrumentos
g	Valores inexatos dos padrões e materiais de referência
h	Valores inexatos de constantes e outros parâmetros obtidos de fontes externas e utilizados no algoritmo utilizado
i	Aproximações e incorporação de conjecturas assumidas pelo método e procedimento de medição
j	Variações nas observações repetidas da mensuranda sob condições aparentemente semelhantes

Algumas destas fontes são inter-dependentes e poderão contribuir para a componente j. É possível a ausência de algumas categorias consoante a aplicação.

iv) Cálculo das diferentes fontes de incerteza do tipo A e B, e definição das suas distribuições de função densidade de probabilidade.

v) Cálculo dos coeficientes de sensibilidade para cada estimativa da grandeza de entrada.

vi) Cálculo da incerteza combinada, aplicando os coeficientes de sensibilidade.

vii) Cálculo a incerteza expandida com factor de expansão,  $k = 2$ , ou calculando os graus de liberdade se não for adoptada a distribuição de Gauss.

A incerteza absoluta deve ser apresentada nas mesmas unidades da grandeza de saída ou em valor relativo,

$$y \pm U$$

$$y \pm k \cdot u_c(y) \quad (41)$$

A incerteza-padrão deverá exprimir a repetibilidade dos ensaios (incerteza do tipo A) utilizando a expressão (32),

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) \quad (42)$$

De outra forma, pode-se exprimi-la na forma,

$$u(y) = \sqrt{u^2(\text{tipo A}) + u^2(\text{tipo B})} \quad (43)$$

### 5.5.3 Cálculo da incerteza associada ao volume da campânula

Para simplificação da deslocação da campânula nos ensaios ou calibrações, deverão estas ser sempre executadas entre uma posição inicial e final bem definidas. Este procedimento deverá também produzir melhores resultados a nível da repetibilidade. Entre essas duas posições poderão ser definidos outros dois pontos, de início e fim, de recolha de dados efectiva para análise, técnica denominada *flying-start-flying-finish* [27,28], uma vez que a inércia no arranque e o meio de paragem utilizado na posição



final poderão igualmente provocar variação ou instabilidade na velocidade de escoamento. Essas posições deverão ser definidas durante os ensaios, com obtenção dos resultados, de modo a que seja maximizado o volume transaccionado com a estabilização do processo e das variáveis que a influenciam, como o diferencial de pressão ou a velocidade de escoamento dela inerente. Em consequência do anterior, os cálculos da incerteza das variáveis experimentais deverão ser obtidos em ensaios realizados em condições semelhantes à de funcionamento em serviço do gasómetro. Por essa razão, os cálculos de incerteza deverão ser executados para cada velocidade de escoamento pretendida, utilizando naturalmente as mesmas expressões de cálculo

A utilização do gasómetro deverá ser utilizada preferencialmente no sentido de cima para baixo, devido à condição de escorregamento do filme de óleo e a sua afectação ao volume interno da campânula, apesar deste poder ser calculado [20](26).

Para início da análise do sistema, será necessário recolher ou verificar o volume da campânula, que irá gerar a grandeza mensurável de referência do sistema. O principal ponto é a dimensão da campânula. Existem inúmeros métodos para o realizar e as referências [29,30,31,32,33] mencionam alguns deles, alguns dos quais referidos anteriormente. A decisão no método não deve invalidar a realização de outros e é até aconselhável que exista a possibilidade de realizar diferentes procedimentos para tal, de modo a obter os melhores resultados ou aqueles que originem maior confiança. Esta verificação deverá ser periódica, de forma a obter a rastreabilidade necessária ao gasómetro [19], esta deverá ser inferior a 5 anos [34].

O método derivado do chamado *strapping* ou na tradução literal “amarração” define-se como a medição do diâmetro exterior da campânula e posteriormente da espessura da secção cilíndrica da campânula [35]. O método consiste na medição de dois diâmetros perpendiculares da campânula por cada secção definida. O número de secções deverá ser no mínimo de dez, para a altura da campânula em questão, apesar de haver diversas referências [29] que indicam a necessidade de executar apenas 2 ou 3 medições, ao invés de 10, e que partem do princípio de que estas superfícies cilíndricas não sofrem grande variação ao longo do seu eixo longitudinal. A campânula, depois de inspeccionada geometricamente, deverá ser colocada na sua posição inicial e após determinado tempo de estabilização, necessário para efeitos de escorrimento de óleo  $T_{esc} = 3 \text{ min}$ . [36], dever-se-á medir a posição inicial do nível do óleo. Após a descida da campânula até à sua posição final, o volume ocupado pela diferença entre o diâmetro exterior e o interior deverá ser obtido (volume transaccionado), assim como a medida da posição final do nível do óleo.

Para este ensaio, é necessário que a campânula não esteja pressurizada (verificar nos desenhos anexos abertura superior) e que a válvula de ligação ao depósito de contra-peso esteja fechada. Mais, consoante as condições de uniformidade da secção cilíndrica da campânula, e das capacidades locais, o contra-peso deverá ser “afinado” para que corresponda “exactamente” à secção imersa da campânula no sentido inverso da imersão da mesma. Esta medição da secção imersível da campânula, em conjunto com a acção do contra-peso durante o funcionamento, vai anular os efeitos que o filme de óleo tem na diminuição do volume útil interno da campânula.

Para o cálculo do volume da campânula, é necessário elaborar a equação que rege o modelo físico.

A equação de controlo de volume, resultante de equações referenciadas para gasómetros [37], é:

$$\begin{aligned} V_C &= V_{EC} - V_{im} + \Delta V_{Ol} \\ V_{EC} &= V_{ECf} - V_{ECi} \\ \Delta V_{Ol} &= \Delta V_{CP} + \Delta V_{IMP} \end{aligned} \quad (44)$$

A capacidade volúmica da campânula,  $V_C$  é a diferença de volume exterior da campânula entre as duas posições de medição a definir nos ensaios de calibração,  $V_{ECf}$  e  $V_{ECi}$ , menos o volume da campânula imergido entre as duas posições mais a diferença de nível de óleo verificada,  $\Delta V_{Ol}$  devida à deficiente compensação da impulsão,  $\Delta V_{IMP}$  e à deficiente compensação de nível de óleo efectuada pelo depósito de contra-peso,  $\Delta V_{CP}$  no volume imerso pela campânula. Esta variação do óleo poderá ser medida e anulada directamente nos ensaios de calibração.

Desenvolvendo,

$$\begin{aligned} V_{EC} &= \bar{S}_E \cdot l_{i \rightarrow f} \\ \bar{S}_E &= \pi \cdot \frac{DE^2}{4} \end{aligned} \quad (45)$$

O volume exterior é igual à média da secção exterior da campânula pela altura percorrida entre os pontos inicial e final da campânula.

Como se viu anteriormente,

$$\begin{aligned} V_{im} &= \frac{\pi}{4} \cdot (DE^2 - DI^2) \cdot l_{i \rightarrow f} \\ V_{im} &= \frac{\pi}{4} \cdot (D_{DEP}^2 - DE^2 + DI^2) \cdot h_{i \rightarrow f} \end{aligned} \quad (46)$$

Do sistema de equações (46) obtêm-se (47):

$$V_{im} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{DEP}^2 \cdot \frac{l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \quad (47)$$

em que  $D_{DEP}$  é o diâmetro interior do depósito,  $l_{i \rightarrow f}$  é a medida de imersão da campânula e  $h_{i \rightarrow f}$  (despressurizada) a correspondente subida de óleo verificada para essa imersão,.

Considerando que as variações conjuntas, devidas à variação do nível do óleo devido às situações referenciadas da impulsão e do depósito do contra-peso, entre os dois pontos de medição definidos, tem-se

$$\Delta V_{Ol} = 0$$

Obtém-se a equação de estado

$$V_C = \frac{\pi}{4} \cdot \left( DE^2 \cdot l_{i \rightarrow f} - D_{DEP}^2 \cdot \frac{l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \right) \quad (48)$$

A equação de estado é, definida pelas seguintes variáveis (grandezas de entrada),

$$V_C = f(DE, l_{i \rightarrow f}, D_{DEP}, h_{i \rightarrow f}) \quad (49)$$

Com os seguintes coeficientes de sensibilidade,

$$\frac{\partial V_C}{\partial DE} = \frac{\pi}{2} \cdot DE \cdot l_{i \rightarrow f} \quad (50)$$

$$\frac{\partial V_C}{\partial D_{DEP}} = -\frac{\pi}{2} \cdot D_{DEP} \cdot \frac{l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \quad (51)$$

Com,

$$\frac{\partial(w/v)}{\partial x} = \frac{v \cdot \frac{\partial w}{\partial x} - w \cdot \frac{\partial v}{\partial x}}{v^2} \quad (52)$$

Conjugando as várias equações, obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_C}{\partial l_{i \rightarrow f}} &= \frac{\pi}{4} \cdot DE^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D_{DEP}^2 \cdot \left( \frac{\partial \left( \frac{l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \right)}{\partial l_{i \rightarrow f}} \right) = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot DE^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D_{DEP}^2 \cdot \left( \frac{(h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}) \cdot \frac{\partial(l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f})}{\partial l_{i \rightarrow f}} - (h_{i \rightarrow f} \cdot l_{i \rightarrow f}) \cdot \frac{\partial(l_{i \rightarrow f} + h_{i \rightarrow f})}{\partial l_{i \rightarrow f}}}{(h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f})^2} \right) = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot DE^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D_{DEP}^2 \cdot \left( \frac{(h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}) \cdot h_{i \rightarrow f} - (h_{i \rightarrow f} \cdot l_{i \rightarrow f})}{(h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f})^2} \right) \\ \frac{\partial V_C}{\partial l_{i \rightarrow f}} &= \frac{\pi}{4} \cdot DE^2 - \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{D_{DEP} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \right)^2 \end{aligned} \quad (53)$$

Contudo, da observação das equações (44), (45) e, (46):

$$V_C = V_{EC} - V_{im} + \Delta V_{Ol}$$

$$\text{com } \Delta V_{Ol} = 0$$

$$V_{EC} = \pi \cdot \frac{DE^2}{4} \cdot l_{i \rightarrow f}$$

$$V_{im} = \frac{\pi}{4} \cdot (DE^2 - DI^2) \cdot l_{i \rightarrow f}$$

E da sua resolução obtém-se a equação (54):

$$V_C = \frac{\pi}{4} \cdot DI^2 \cdot l_{i \rightarrow f} \quad (54)$$

E a sua derivada,

$$\frac{\partial V_C}{\partial l_{i \rightarrow f}} = \frac{\pi}{4} \cdot DI^2 \quad (55)$$

A equação (55) obtida é igual e de menor complexidade que a equação (53), optando-se pela sua utilização.

Por semelhança com equação (53),

$$\frac{\partial V_C}{\partial h_{i \rightarrow f}} = -\frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{D_{DEP} \cdot l_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \right)^2 \quad (56)$$

Através do quadrado da incerteza combinada, tem-se a expressão (57)

$$u^2(V_C) = \left( \frac{\partial V_C}{\partial DE} \right)^2 \cdot u^2(DE) + \left( \frac{\partial V_C}{\partial D_{DEP}} \right)^2 \cdot u^2(D_{DEP}) + \left( \frac{\partial V_C}{\partial l_{i \rightarrow f}} \right)^2 \cdot u^2(l_{i \rightarrow f}) + \left( \frac{\partial V_C}{\partial h_{i \rightarrow f}} \right)^2 \cdot u^2(h_{i \rightarrow f})$$

com as equações (50), (51), (54) e (55), temos,

$$\frac{\partial V_C}{\partial DE} = \frac{\pi}{2} \cdot DE \cdot l_{i \rightarrow f}$$

$$\frac{\partial V_C}{\partial D_{DEP}} = -\frac{\pi}{2} \cdot D_{DEP} \cdot \frac{l_{i \rightarrow f} \cdot h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}}$$

$$\frac{\partial V_C}{\partial l_{i \rightarrow f}} = \frac{\pi}{4} \cdot DI^2$$

$$\frac{\partial V_C}{\partial h_{i \rightarrow f}} = -\frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{D_{DEP} \cdot l_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}} \right)^2$$

E os **valores nominais** são:

$$D_{DEP} = 0,450 \text{ m}$$

$$DE = 0,382 \text{ m}$$

$$DI = 0,376 \text{ m} \quad (57)$$

$$h_{i \rightarrow f} = 22,975 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$l_{i \rightarrow f} = 1 \text{ m}$$

**a) Medição do diâmetro exterior da campânula (DE) e interior do depósito ( $D_{DEP}$ )**

i) Retira-se directamente do respectivo certificado de calibração do instrumento de medição (categoria g). Se reportado com factor de expansão  $k = 2$ , necessitará de se exprimir como incerteza-padrão. De (38):

$$u(x) = \frac{a}{k} \quad (58)$$

ii) Sensibilidade do meio de dimensionamento à temperatura (categoria d).

A diferença entre as condições de calibração do padrão e as de medição, devido a desvios entre a temperatura de calibração do padrão de medição dos diâmetros e a temperatura efectiva de medição, os resultados dimensionais sofrem um desvio passível da seguinte correcção,

$$DE_{ref} = DE \cdot (1 + \alpha_{SS} \cdot \Delta T) \quad D_{DEP,ref} = D_{DEP} \cdot (1 + \alpha_{SS} \cdot \Delta T) \quad (59)$$

A sensibilidade,

$$\frac{\partial DE_{ref}}{\partial T} = DE \cdot \alpha_{SS} \quad \frac{\partial D_{DEP,ref}}{\partial T} = D_{DEP} \cdot \alpha_{SS} \quad (60)$$

Relembrando o valor do coeficiente de expansibilidade térmica do aço inoxidável,

$$\alpha_{SS} = 17,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ (entre 0 e 100 °C)}$$

**Estimativa:**  $\Delta T = 2^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\frac{u(DE_{ref})}{DE_{ref}} &= \frac{\partial DE_{ref}}{\partial T} \cdot DE_{ref} \\ \frac{u(DE_{ref})}{DE_{ref}} &= \frac{DE \cdot \alpha_{SS} \cdot DE \cdot (1 + \alpha_{SS} \cdot \Delta T)}{DE} = DE \cdot \alpha_{SS} \cdot (1 + \alpha_{SS} \cdot \Delta T) \\ \frac{u(DE_{ref})}{DE_{ref}} \% &= 0,382 \times 17,3 \times 10^{-6} \times (1 + 17,3 \times 10^{-6} \times 2) \times 100 \% = 0,00066 \%\end{aligned}\quad (61)$$

Pelo cálculo efectuado conclui-se que o valor é perfeitamente desprezável, assim como a incerteza do valor do coeficiente de expansibilidade térmica do aço.

iii) Erros devidos à cilindridade ou elipsidade da secção cilíndrica da campânula (categoria i). Considera-se que a recolha de dois diâmetros, em eixos de medição perpendiculares, poderá corresponder a uma forma elíptica da secção da campânula em vez da desejada, circular.

Assim, tem-se as áreas e perímetros de uma circunferência e de uma elipse respectivamente,

$$A_O = \pi \cdot r_O^2 \qquad A_{\square} = \pi \cdot c \cdot w \quad (62)$$

$$P_O = 2 \cdot \pi \cdot r_O \qquad P_{\square} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{c^2 + w^2}{2}$$

considerando que os perímetros de ambas secções são iguais, surge a equação (63),

$$2 \cdot \pi \cdot r_O = 2 \cdot \pi \cdot \frac{c^2 + w^2}{2} \Leftrightarrow r_O = \frac{c^2 + w^2}{2} \quad (63)$$

Se a diferença entre  $c$  e  $w$ , semi-eixos de uma elipse, for,  $e_l$  e se estimar um valor de  $1 \text{ mm}^7$ , a variação da área da secção interna da campânula,  $\Delta A_S$ , com a utilização da equação (63),

$$\Delta A_S = \frac{\pi}{2} \cdot e_l^2 \quad (64)$$

Com

$$\begin{aligned}A_S &= \pi \cdot r_i^2 \\ \frac{\Delta A_S}{A_S} &= \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{e_l}{r_i} \right)^2 \\ \frac{\Delta A_S}{A_S} \% &= 0,5 \times \left( \frac{1 \times 10^{-3}}{0,188} \right)^2 \times 100 \% = 0,0014 \%\end{aligned}\quad (65)$$

Verifica-se que este valor é desprezável e, caso o valor estimado anterior ( $e_l = 0,5 \text{ mm}$ ) seja superior, este pode ser sempre anulado de forma que o erro seja obtido com maior exactidão com um maior número de medições da campânula (e depósito).

Adicionando as incerteza do tipo A respeitantes ao número de medições necessárias para obter os valores com um determinado nível de confiança, (mínimo de 10 medições),

<sup>7</sup> Ver estudo sobre tolerância cilindridade no ponto 4.1 e em anexos – desenhos.

$$u(DE) = \sqrt{u^2(\text{tipo } A) + u^2(\text{tipo } B)}$$

$$u(D_{DEP}) = \sqrt{u^2(\text{tipo } A) + u^2(\text{tipo } B)}$$
(33.2)

**Estimativa da incerteza para ambas variáveis de entrada  $DE$  e  $D_{DEP}$ : 0,1 mm**

**b) Medição do curso da campânula**

i) Retira-se directamente do respectivo certificado de calibração do instrumento de medição (categoria g). Se reportado com factor de expansão  $k = 2$ , necessitará de se exprimir como incerteza-padrão, segundo expressão (58).

$$u(x) = \frac{a}{k}$$

ii) Sensibilidade do meio de dimensionamento à temperatura (categoria d). A diferença entre as condições de calibração do padrão e as de medição, devido a desvios entre a temperatura de calibração do padrão de medição dos diâmetros e a temperatura efectiva de medição, os resultados dimensionais sofrem um desvio passível da seguinte correcção,

$$l_{i \rightarrow f \text{ ref}} = l_{i \rightarrow f} \cdot (1 + \alpha_{SS} \cdot \Delta T)$$
(66)

A sensibilidade,

$$\frac{\partial l_{i \rightarrow f \text{ ref}}}{\partial T} = l_{i \rightarrow f} \cdot \alpha_{SS}$$
(67)

Relembrando que para o aço inoxidável temos o coeficiente de expansão térmica,

$$\alpha_{SS} = 17,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \text{ (entre 0 e 100 °C)}$$

Aplicando-se estimativa anterior (61), não se prevê variações de temperatura suficientemente grandes para afectar a incerteza desta medição. Acrescendo a particularidade desta medição ter ainda um tipo de compensações que reduzem o efeito mencionado, o facto do enrolador do *encoder* e as colunas do gasómetro estarem sujeitas às mesmas condições com efeito inverso.

Utilizando a expressão (33.1) para o cálculo da incerteza levando em conta a repetibilidade das medições do curso, que prevê a variabilidade das medições devida a diferentes causas.

$$u(l_{i \rightarrow f}) = \sqrt{u^2(\text{tipo } A) + u^2(\text{tipo } B)}$$
(33.3)

**Estimativa para incerteza da medição do curso  $l_{i \rightarrow f}$ : 0,2 mm**

**c) Medição do volume imergido da campânula (altura do óleo)**

A altura estimada do óleo devida à imersão da secção da campânula

i) Retira-se directamente do respectivo certificado de calibração do instrumento de medição (categoria g). Se reportado com factor de expansão  $k = 2$ , necessitará de se exprimir como incerteza-padrão, de (58),

$$u(x) = \frac{a}{k}$$

Como anteriormente de (33.1),

$$u(h_{i \rightarrow f}) = \sqrt{u^2(\text{tipo } A) + u^2(\text{tipo } B)}$$
(33.4)

**Estimativa para incerteza da medição da altura do óleo  $h_{i>j}$ : 0,1 mm**

**d) Outras fontes**

i) Não verticalidade da deslocação da campânula.

A campânula é guiada na sua deslocação, esse guiamento tem uma folga. Se a deslocação no pior caso for efectuada com a campânula inclinada existe uma incerteza relacionada com a diferença entre os diferentes volumes gerados, ver figura 26. Se a folga máxima fôr de 3 mm,

$$V_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot h_i \quad (68)$$

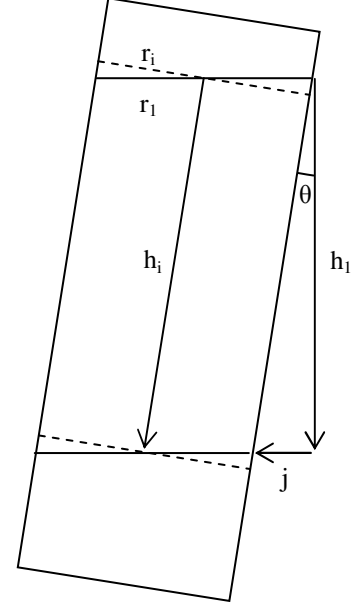
$$V_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot h_1$$

$$\cos \theta = \frac{h_1}{h_i} = \frac{r_1}{r_i} \quad (69)$$

$$\theta = \arctg \frac{j}{h_i}$$

$$\frac{V_1 - V_i}{V_i} = \frac{1}{\cos^3 \theta} - 1 \quad (70)$$

$$\frac{V_1 - V_i}{V_i} = \frac{1}{\cos^3 \left( \arctg \frac{0,003}{1} \right)} - 1 = 0,00045 \%$$



*Figura 26 - Não verticalidade do curso da campânula*

resultando então num valor desprezável.

Nota: A incerteza resultante da leitura dos equipamentos de medição está incluída na incerteza de calibração desses mesmos equipamentos, por exemplo devido a aproximações de resolução em indicadores digitais (categoria f). Assumindo que os equipamentos utilizados para medição dos diâmetros são de leitura digital e têm uma resolução finita bem identificada ( $s_R$ ),

$$u_s = s_R \cdot \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad (71)$$

Resumindo apresenta-se na tabela 9 o cálculo de incerteza na determinação do volume da campânula.

Tabela 9 - Expressão da incerteza na determinação do volume da campânula

Grandeza	Estimativa	Incerteza-padrão	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza-padrão	$u_i(y)/y$ %
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$ c_i $	$u_i(y)$	
$D_{DEP}$	0,450 m	$0,1 \times 10^{-3}$ m	Gauss	$15,876 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	$1,588 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,001
$DE$	0,382 m	$0,1 \times 10^{-3}$ m	Gauss	$600,044 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	$60,004 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,054
$h_{i>f}$	$22,975 \times 10^{-3}$ m	$0,1 \times 10^{-3}$ m	Gauss	$151,979 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	$15,198 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,014
$l_{i>f}$	1 m	$0,2 \times 10^{-3}$ m	Gauss	$111,036 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	$22,207 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,020
$V_C$	$111,036 \times 10^{-3} \text{ m}^3$				$65,781 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,059

Sendo então a incerteza relativa

$$\frac{u(V_C)}{V_C} = \frac{65,781 \times 10^{-6}}{111,036 \times 10^{-3}} \times 100 \% = 0,059 \% \quad (72)$$

A esta incerteza deverá ser adicionada a incerteza devida à repetibilidade dos ensaios utilizando a expressão (33.1)

$$u(y) = \sqrt{u^2(\text{tipo A}) + u^2(\text{tipo B})}$$

A incerteza expandida de (38) com factor de expansão  $k = 2$  para um intervalo de expansão de 95 %,

$$U(V_C) = 0,12 \% \quad (73)$$

#### 5.5.4 Determinação da incerteza do gasómetro

O gasómetro na sua essência é um meio físico de gerar volume conhecido de fluido compressível.

##### Âmbito

Desenvolvimento da equação de estado e estimativa da incerteza associada ao volume transaccionado no instrumento a verificar pelo gasómetro.

##### Definição da mensuranda

Volume de fluido compressível transaccionado em instrumento, a verificar, gerado pelo gasómetro a determinado caudal volúmico estabelecido. Poder-se-á também definir como volume de fluido compressível transaccionado numa determinada unidade de tempo fixa definida, mas independente dela. (genericamente o fluido é o ar às condições normalizadas e definidas).

##### Equação de controlo ou de estado

Para cálculo dos volumes transaccionados entre a campânula e o instrumento a verificar é necessário elaborar as equações que regem o modelo físico.

Equação integral da continuidade ou lei de conservação de massa, 1ª lei de Newton [6] para um dado volume de controlo,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \cdot dV + \int_A \rho \cdot \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (74)$$



A sua forma em caudal mássico, aplicada ao gasómetro [29],

$$Q_{RG} = \frac{\rho_{Rm} \cdot V_{Rm}}{\Delta t} + \frac{\Delta \rho_a \cdot V_a}{\Delta t} + Q_{FUGAS} \quad (75)$$

Da consideração anterior sobre a eliminação de fugas, a equação poderá ser representada como,

$$\rho_{RG} \cdot V_{RG} = \rho_{Rm} \cdot V_{Rm} + \Delta \rho_a \cdot V_a \quad (76)$$

Se não existir variação de massa na tubagem de ligação entre a campânula e contador,

$$\rho_{RG} \cdot V_{RG} = \rho_{Rm} \cdot V_{Rm} \quad (77)$$

Se o erro relativo [5] obtido na calibração do contador for

$$e_{\%} = \frac{V_m - V_{Rm}}{V_{Rm}} \cdot 100 \% = \left( \frac{V_m}{V_{Rm}} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (78)$$

Sendo o volume efectivo transaccionado na mensuranda,  $V_{Rm}$  e o volume transaccionado indicado na mensuranda,  $V_m$  com a relação entre o volume transaccionado na mensuranda e o volume gerado pela campânula utilizando (76), então a equação de estado,

$$V_{Rm} = \frac{\rho_{RG}}{\rho_{Rm}} \cdot V_{RG} \quad (79)$$

Equação dos gases ideais ou perfeitos, a relação entre a massa volúmica de um gás, a sua pressão e temperaturas absolutas, é estabelecida através da equação de estado [6]. Para um gás considerado ideal

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad (80)$$

A sua aplicação, a um determinado gás

$$\rho = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \quad (81)$$

Com  $R$  denominada a constante de gás, massa molar,  $M$  e factor de compressibilidade,  $Z$  aplicando (81) na expressão (79)

$$V_{Rm} = \frac{p_{RG} \cdot M}{Z_{RG} \cdot R \cdot T_{RG}} \cdot \frac{Z_{Rm} \cdot R \cdot T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot M} \cdot V_{RG} \quad (82)$$

Uma vez que os factores de compressibilidade têm dependência reduzida a variações de temperatura e pressão a condições ambientais [31,38],

$$V_{Rm} = \frac{p_{RG} \cdot T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}} \cdot V_{RG} \quad (83)$$

A equação de estado é definida pelas seguintes variáveis (grandezas de entrada),

$$V_{Rm} = f(p_{RG}, p_{Rm}, T_{RG}, T_{Rm}, V_{RG}) \quad (84)$$

Utilizando a seguinte regra de derivação,

$$\frac{\partial \left( \frac{1}{f(x)} \right)}{\partial x} = - \frac{\frac{\partial f(x)}{\partial x}}{f^2(x)} \quad (85)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{RG}} &= -\frac{T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}} \cdot V_{RG} \\
\frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{Rm}} &= -\frac{p_{RG}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}} \cdot V_{RG} \\
\frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{Rm}} &= -\frac{p_{RG} \cdot T_{Rm}}{p_{Rm}^2 \cdot T_{RG}} \cdot V_{RG} \\
\frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{RG}} &= -\frac{p_{RG} \cdot T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}^2} \cdot V_{RG} \\
\frac{\partial V_{Rm}}{\partial V_{RG}} &= \frac{p_{RG} \cdot T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}}
\end{aligned} \tag{86}$$

$$\begin{aligned}
u^2(V_{Rm}) &= \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(p_{RG}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(T_{Rm}) + \\
&+ \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(p_{Rm}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(T_{RG}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial V_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(V_{RG})
\end{aligned} \tag{87}$$

#### Definição dos valores nominais<sup>8</sup>

$$\begin{aligned}
p_{atm} &= 101325 \text{ Pa} \\
\Delta p_{RG} &= 2000 \text{ Pa} \\
\Delta p_l &= -50 \text{ Pa} \\
p_{RG} &= p_{atm} + \Delta p_{RG} = 101325 + 2000 = 103325 \text{ Pa} \\
p_{Rm} &= p_{RG} + \Delta p_l = 103325 - 50 = 103275 \text{ Pa}
\end{aligned} \tag{88}$$

Com a pressão relativa de trabalho dentro da campânula,  $\Delta p_{RG}$  de 2 000 Pa (20 mbar), diferença de pressão entre a da campânula e a do instrumento,  $\Delta p_l$  de 50 Pa (quebra de pressão), e as pressões absolutas na campânula e no instrumento  $p_{RG}$  e  $p_{Rm}$  respectivamente, considerando a pressão atmosférica de 101 325 Pa. Quanto às temperaturas,

$$\begin{aligned}
T_{RG} &= 293,15 \text{ K} \\
T_{Rm} &= T_{RG} + \Delta T_l = 293,15 + 0,3 = 293,45 \text{ K}
\end{aligned} \tag{89}$$

Com a temperatura absoluta dentro da campânula,  $T_{RG}$  (20 °C) e um diferencial,  $\Delta T_l$  (0,3 K) para a temperatura no instrumento,  $T_{Rm}$ .

Sendo o volume gerado pela campânula,  $V_{RG}$  o volume obtido na determinação às condições de referencia mais o diferencial resultante das diferenças das condições de referencia,

$$V_{RG} = V_C + \Delta V_{ref} \tag{90}$$

#### Identificação das fontes de incerteza

Tal como a determinação da incerteza para o volume da campânula, a incerteza do sistema gasómetro depende em grande parte dos instrumentos de medida e controlo. Assim temos resumidamente:

##### a) Medição das pressões

<sup>8</sup> Estes valores são estabelecidos experimentalmente sem qualquer relação entre eles teoricamente.

i) Retira-se directamente dos respectivos certificados de calibração (categoria g).

Se reportado com factor de expansão  $k = 2$  necessitará de se exprimir como incerteza-padrão de (58),

$$u(x) = \frac{a}{k}$$

**Estimativa da incerteza: 25 Pa**

b) Medição das temperaturas

i) De igual forma segundo expressão (58),

**Estimativa da incerteza: 0,1 K**

c) Outras fontes de incerteza

i) A calibração da mensuranda a uma temperatura diferente da que foram realizados os ensaios de determinação do volume da campânula (calibração da campânula) origina uma incerteza no volume gerado devida à expansibilidade da campânula (categoria d),

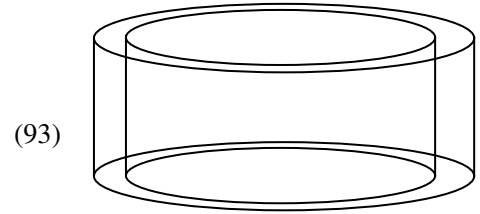
$$\begin{aligned} V_{EX} &= l_{i \rightarrow f} \cdot A_S = l_{i \rightarrow f} \cdot A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T) \\ V_0 &= l_{i \rightarrow f} \cdot A_0 \end{aligned} \quad (91)$$

Se esse diferencial for de 1 K, e o coeficiente de expansibilidade da secção,

$$\beta = 2 \cdot \alpha_{SS} \quad (92)$$

Relembrando as características do material,

$$\begin{aligned} \frac{V_{EX} - V_0}{V_0} &= \frac{V_{EX}}{V_0} - 1 = 2 \cdot \alpha_{SS} \cdot \Delta T \\ \frac{V_{EX} - V_0}{V_0} &= 2 \times 17,3 \times 10^{-6} \times 1 = 0,00346 \% \end{aligned} \quad (93)$$



*Figura 27 - Expansibilidade térmica da campânula*

Para efeitos de cálculo da incerteza considera-se que as condições de referência na determinação do volume da campânula são idênticas às do ensaio do gasómetro (que servem de base para cálculo da sua incerteza). Caso não o sejam, verifica-se facilmente do anterior cálculo da determinação do volume da campânula que apenas a temperatura ambiente tem uma influência neste volume através da expansibilidade da campânula e que para um diferencial de 2 K, essa diferença é desprezável, resultando em,

$$V_{RG} = V_C \quad (94)$$

Nota 1: A expansibilidade térmica não afecta a medição do curso da campânula.

Nota 2: A incerteza resultante da leitura dos equipamentos de medição está incluída na incerteza de calibração desses mesmos equipamentos, devidas a aproximações de resolução em indicadores digitais (categoria f). Assumindo que os equipamentos utilizados para medição dos diâmetros são de leitura digital e têm uma resolução finita bem identificada ( $s_R$ ), de (71), incertezas devidas à repetibilidade do instrumento e à estabilidade a longo prazo.

$$u_s = s_R \cdot \frac{1}{2\sqrt{3}}$$

Tabela 10 - Expressão da incerteza na determinação do volume transaccionado na mensuranda

Grandeza $X_i$	Estimativa $x_i$	Incerteza- padrão $u(x_i)$	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade $ c_i $	Contribuição para a incerteza-padrão $u_i(y)$	$u_i(y)/y$ (%)
$p_{RG}$	103 325 Pa	25 Pa	Gauss	$1,076 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$	$26,906 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,024
$p_{Rm}$	103 275 Pa	25 Pa	Gauss	$1,077 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$	$26,919 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,024
$T_{RG}$	293,15 K	0,1 K	Gauss	$379,341 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$37,934 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,034
$T_{Rm}$	293,45 K	0,1 K	Gauss	$379,341 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$37,934 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,034
$V_{RG}$	$111,036 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$65,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	Gauss	1,001 51	$65,881 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,059
$V_{Rm}$	$111,204 \times 10^{-3} \text{ m}^3$				$93,096 \times 10^{-6} \text{ m}^3$	0,084

$$\frac{u(V_{Rm})}{V_{Rm}} = \frac{92,998 \times 10^{-6}}{111,096 \times 10^{-3}} \times 100 \% = 0,084 \% \quad (95)$$

A esta incerteza deverá ser adicionada a incerteza devida à repetibilidade dos ensaios utilizando a expressão (33.1)

$$u(y) = \sqrt{u^2(\text{tipo A}) + u^2(\text{tipo B})}$$

Com factor de expansão  $k = 2$  (para um intervalo de expansão de 95 %) temos uma incerteza expandida,

$$\begin{aligned} U(V_{Rm}) &= k \cdot u(V_{Rm}) \\ U(V_{Rm}) &= 0,186 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ \frac{U(V_{Rm})}{V_{Rm}} &= 0,17 \% \end{aligned} \quad (96)$$

No cálculo desta incerteza é preponderante o conhecimento integral dos meios e métodos de medição dimensional da campânula com respectivos certificados de calibração e incertezas com factor de expansão de 2 (para intervalo de expansão de 95 %). Semelhante se aplica aos sensores ou transdutores para leitura de pressão, temperatura e posicionamento seja nos vários pontos do sistema seja no conhecimento dos valores ambientais.

#### 5.5.5 Determinação da incerteza da calibração da mensuranda

Não é objecto deste estudo, o cálculo da incerteza da mensuranda uma vez que os resultados seriam seriamente comprometidos pelas características do equipamento a calibrar. Além de que qualquer comparação entre diferentes equipamentos (gasómetros, *Piston Provers*, etc.) seriam descabidos e não comparáveis. De qualquer forma é importante mencionar a forma de o executar.

Relembrando a expressão (78) do erro obtido na calibração do contador for,

$$e_{\%} = \frac{V_m - V_{Rm}}{V_{Rm}} \cdot 100 \% = \left( \frac{V_m}{V_{Rm}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

verifica-se então como equação modelo para cálculo dessa incerteza, por definição

$$u(e_{\%}) = f(V_m, V_{Rm}) \quad (97)$$

Calculado a incerteza do volume real na mensuranda,  $V_{Rm}$  ficará por analisar a incerteza da indicação do volume obtido na mensuranda,  $V_m$ .

Com

$$\begin{aligned} u^2(e_{\%}) &= \left( \frac{\partial e_{\%}}{\partial V_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(V_{Rm}) + \left( \frac{\partial e_{\%}}{\partial V_m} \right)^2 \cdot u^2(V_m) \\ u^2(e_{\%}) &= \left( \frac{V_m}{V_{Rm}^2} \right)^2 \cdot u^2(V_{Rm}) + \left( \frac{1}{V_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(V_m) \end{aligned} \quad (98)$$

### Identificação das fontes de incerteza

Incerteza resultante da leitura dos equipamentos de medição, e a sua resolução finita, utilizando a expressão (71),

$$u_s = s_R \cdot \frac{1}{2\sqrt{3}}$$

recordando que são efectuadas duas leituras (no início e final do ensaio).

Devido à repetibilidade, utilizando a expressão (32), realizando no mínimo 10 ensaios,

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q})$$

utilizando a expressão (33.1),

$$u(y) = \sqrt{u^2(\text{tipo A}) + u^2(\text{tipo B})}$$

obtemos a incerteza da calibração.

Nota: O contador poderá ter leitura digital. Devendo esta ser obtida manualmente ou através do sistema de aquisição de dados caso o permita.

## 5.6. Procedimento técnico a utilizar nos ensaios do gasómetro

A seguinte elaboração serve como base de um futuro procedimento técnico a utilizar nos ensaios do gasómetro. Este é baseado em procedimentos em vigor no **LCM**.

**Designação:** Ensaio de calibração de contadores de gás, volumétricos, com gasómetro.

### 5.6.1 Objectivo

O procedimento descreve o método de calibração e ensaio de contadores de gás utilizando o gasómetro, baseado na deslocação de uma secção da campânula, de um dado curso, a temperatura e pressão atmosféricas estabelecidas e limitadas, utilizando equações e formulações cientificamente comprovadas.

### 5.6.2 Definições gerais

As definições do VIM são adoptadas com a utilização do SI.

### 5.6.3 Definições específicas

Contador - Instrumento de medição de volume de gás totalizador para uso doméstico.

Campânula - Copo invertido, parcialmente imerso, em depósito, cuja deslocação permite, através de tubagem de escape, o escoamento de volume determinado.

Tempo de estabilização - Tempo determinado para a estabilização ambiental de todos os componentes envolvidos no ensaio, como gasómetro, instrumentação de controlo, tubagem, óleo, etc.

Tempo de escoamento de óleo - Tempo determinado para permitir o escoamento do óleo na superfície da campânula.

Tempo de ensaio - Tempo total necessário para o escoamento do ar da campânula até à sua posição inferior, incluindo o tempo de escoamento do óleo.

### 5.6.4 Rastreabilidade da medição do gasómetro

Os sensores/sondas e unidades de medição, leitura e registo deverão ser convenientemente calibrados nas condições tão próximas quanto possível dos ensaios do gasómetro.

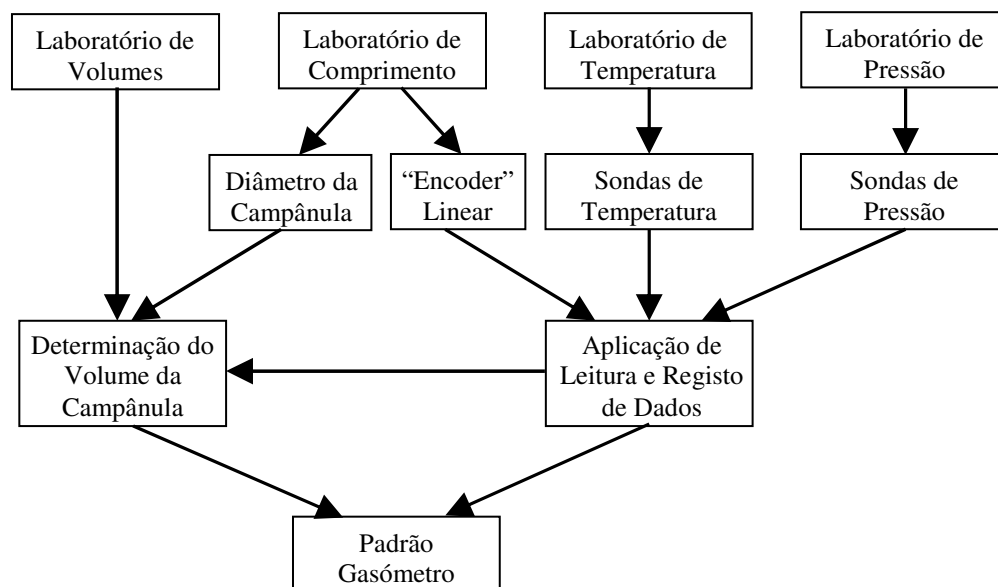


Figura 28 - Fluxograma da rastreabilidade do gasómetro

#### Referências:

ISO 17025:2005 - Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração.

NP 1812:1984 (Ed. 1) - Contadores de gás. Terminologia e definições.

NP 1813:1985 (Ed. 1) - Contadores de gás, volumétricos, de paredes deformáveis, para uso doméstico. Características e ensaios de aprovação do modelo.

NP 1814:1984 (Ed. 1) - Contadores de gás, volumétricos, de paredes deformáveis, para uso doméstico. Primeira verificação e verificação periódica ou extraordinária.

NP 2243:1992 (Ed. 1) - Contadores de gás volumétricos, de paredes deformáveis, para uso doméstico. Controle estatístico. Critério de aceitação e rejeição.

NP EN 1359:2002 (Ed. 1) - Contadores de gás. Contadores de paredes deformáveis.

prNP 2979:1985

EUROMET Project No 425 - *Intercomparison of Bell Provers using a transfer meter.*

OIML D23 - *Principles of metrological control of equipment used for verification.*

OIML R31 - *Diaphragm gas meters.*

EA - *European co-operation for Accreditation, Publication ref. 4/02 - Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999.*

NIST Special Publication 250-49 - *Piston Prover and Bell Prover Gas Flow Facilities.*

#### 5.6.5 Descrição das unidades de medida

**Volume:** No Sistema Internacional, a unidade da grandeza derivada volume é o metro cúbico,  $m^3$ . Para os volumes em questão, poder-se-á utilizar o seu submúltiplo, o decímetro cúbico,  $dm^3$ , ou o seu equivalente, o litro.

**Comprimento:** A grandeza utilizada para a medição do curso da campânula, cuja unidade é o metro, m, ou seu submúltiplo o milímetro, mm.

**Pressão:** No Sistema Internacional a unidade é o pascal, Pa, ou unidade alternativa, autorizada legalmente, bar ( $10^5$  Pa = 100 kPa = 1 bar ou 100 Pa = 1 mbar) para medição de pressão relativa, diferencial e absoluta.

**Temperatura:** No Sistema Internacional, a unidade da Temperatura termodinâmica é o kelvin, K ou unidade alternativa o grau celsius,  $^{\circ}C$  ( $1^{\circ}C = 1+273,15$  K) segundo escala internacional de temperatura de 1990.

#### 5.6.6 Equipamentos

**Meio de calibração ou gás:** o ar [38]. Deverá estar em boas condições, sem existência de partículas ou previamente filtrado e com temperatura e humidade relativa controlada e com massa volúmica de  $1,2\text{ kg/m}^3$  às condições do ensaio. Pode ser fornecido por sistema de ar comprimido existente se a sua pressão de entrada no gasómetro for convenientemente controlada.

**Gasómetro:** Equipamento gerador de um volume determinado de ar, através da deslocação de campânula, com secção e curso definido, através de calibração. Com capacidade mínima de 110 litros e incerteza expandida inferior a 0,30 %. A determinação do volume, ou capacidade do gasómetro, deverá ser executada com uma periodicidade inferior a 5 anos [34], dentro das mesmas condições ambientais do presente procedimento. O líquido gasométrico deverá ser o óleo. Deverá ser possível o nivelamento do gasómetro e caso seja deslocado deverá ser verificado, de modo a que a verticalidade da deslocação da campânula seja garantida, que a superfície do óleo lhe seja perpendicular e para que o atrito na deslocação da campânula não provoque variação da pressão interna.

**Óleo:** Deverá ter viscosidade reduzida e uma massa volúmica aproximada de  $880 \text{ kg/m}^3$ . Estas propriedades deverão ser verificadas e registadas previamente à sua utilização. A capacidade do gasómetro é de 200 litros aproximadamente.

**Medição de temperatura:** Os sistemas de medição e registo de temperatura deverão ter uma resolução mínima de  $0,05 \text{ K}$  para medição da temperatura na campânula e no contador.

**Medição de pressão:** Os sistemas de medição pressão e registo de pressão relativa deverão ter resolução de  $1 \text{ Pa}$ .

**Posicionador:** Baseado num *encoder* incremental linear com cabo de enrolamento fixo no topo da campânula. Deverá ter indicação em milímetros com resolução à centésima casa decimal. Deverá ter unidade de leitura independente do sistema de registo para simplificação da operabilidade do gasómetro.

**Cronómetro:** Para medição dos tempos de estabilização e de ensaio deverá ter uma resolução mínima de 1 segundo. Para cálculo de caudal volúmico instantâneo ou médio (não é necessário para os contadores domésticos) deverá ter uma resolução pelo menos 1 décimo de segundo. O sistema de aquisição de dados tem resoluções bastante superiores.

**Controlo ambiental:** Para efeitos de estabilização na sala de ensaios, deverão ser controlados, medidos e registados os valores ambientais de pressão atmosférica, temperatura ambiente e humidade relativa ambiente, com resoluções mínimas de  $50 \text{ Pa}$ ,  $0,1 \text{ K}$  e  $1 \%$  respectivamente.

**Aquisição de dados:** Aplicativo ou aplicação de registo (em *LabVIEW*) onde será executado medição e controlo de condições de ensaio previamente estabelecidas. Esta deverá ser validada e ser submetido a verificações apropriadas de forma sistemática [19].

**Sistemas de compensação:** Os sistemas de compensação, se existirem, têm o objectivo de regulação do nível do óleo, da pressão interna da campânula e da regulação de fluxo.

**Contador de gás volumétrico:** Equipamento de utilização doméstica. Verificação periódica de características de funcionamento e critérios de aceitação e de rejeição em relação aos erros máximos admissíveis. Deverá ter totalizador analógico ou digital com marcação de metro cúbico e numeração de um decímetro cúbico (até classe G6 inclusive) e uma divisão mínima (ou resolução) de  $1/5$  de decímetro cúbico. Indicação de caudal máximo e caudal mínimo. Para outras características consultar normas respeitantes.

#### 5.6.7 Técnicas gerais

**Verificação e limpeza:** Todos os equipamentos a utilizar deverão ser previamente verificados. Para além da inspecção visual, deverão ser verificados: a campânula, o estado de funcionamento das válvulas e reguladores da fonte de ar (bomba, ventilador ou ar comprimido), o estado e nível do óleo em relação a anteriores utilizações. O funcionamento dos equipamentos de medição e dos contadores, deverão ser verificados



quanto à sua limpeza, aspecto e funcionamento antes dos ensaios (e tempo de estabilização).

Os instrumentos de medição a serem verificados deverão ser identificados e anotadas as respectivas características.

**Controlo ambiental:** A sala onde se efectuam os ensaios, que deve ter condições de isolamento, deverá ser climatizada, de forma a controlar a temperatura, pressão e humidade relativa. Outras considerações relevantes poderão ser encontradas em [19].

O tempo de estabilização deverá ser de 24 horas antecedentes ao início dos ensaios [38].

Os limites da tabela 10 impõem-se:

*Tabela 11 - Condições ambientais*

	Temperatura ambiente	Pressão atmosférica	Humidade relativa
Limite	20 a 25 °C	95 a 105 kPa	40 a 70 %
24h antes	22,5 °C $\pm$ 1 K	100 kPa $\pm$ 1 kPa	55 % $\pm$ 5 %
Durante ensaio	$\pm$ 0,5 K	$\pm$ 50 Pa	$\pm$ 1 %

Todos os equipamentos necessários à execução dos ensaios deverão estar na sala de ensaios e todos equipamentos susceptíveis de alterar as condições ambientais (Computadores, iluminação, compressor, etc.) deverão ser colocados em funcionamento pelo menos uma hora antes do início dos ensaios.

Se a fonte de ar for proveniente de sistema instalado de ar comprimido, cuja origem será exterior à sala de ensaio, e no caso de dúvida sobre as condições de temperatura ou outras, este deverá ser armazenado em depósito pressurizado no interior da sala para estar sujeito ao período de estabilização necessário (24 horas).

#### 5.6.8 Segurança

**Óleo:** Deverão ser tidos em consideração os devidos cuidados no manuseamento do óleo. O gotejamento ou extravasamento do óleo para o solo deverá desencadear imediatamente a sua limpeza para evitar possíveis acidentes. O óleo no fim do seu tempo de vida deverá ser entregue a agente autorizado para a sua recolha, transporte e tratamento (caso a quantidade supere os 200 litros). O nível do óleo poderá ser ajustado entre ensaios por diversas razões, mas nunca se deverá colocar em risco o seu extravasamento ou entrada para a tubagem de escape do gasómetro. O óleo deve ser fornecido com respectiva ficha de segurança (MSDS), uma vez que segundo a Directiva 67/548/EEC também publicada como 2001/59/EC, estes produtos são classificados com risco “R45: Poderá causar cancro”.

**Campânula:** A entrada de ar dentro da campânula deverá ter em conta a pressão máxima a que esta poderá estar sujeita, correndo o risco de a danificar ou de causar acidente. Esta situação será mais crítica se for utilizado fonte de ar comprimido. Este deverá ter sistema de segurança com redundância suficiente (reguladores de pressão e pressostatos). O seu manuseamento deverá ser acautelado. De acordo com (17), indica-se de seguida pressão relativa a que a campânula pode estar sujeita com o contra-peso:

$$p = \frac{P_{Camp} - P_{CP}}{A_s}$$

$$A_s = \pi \cdot r_i^2$$

$$p = \frac{482,242 - 132,415}{\pi \times 0,188^2} = 3\,150,56 \text{ Pa}$$

Esta pressão será uma pressão de equilíbrio. Assim a pressão necessária para deslocar a campânula deverá ser ligeiramente superior. De qualquer forma o contra-peso deverá ser corrigido para execução do ensaio com pressão interna na campânula de cerca de 1 kPa [39].

#### 5.6.9 Procedimento de ensaio

##### a) 24 horas antes do ensaio

Definir as condições ambientais, colocar todos os equipamentos necessários na sala de ensaio, identificar e verificar os instrumentos a calibrar. Fechar válvula 4 (ver figura 29) e, utilizando a válvula 1 de 3, encher a campânula para a colocar na sua posição superior (figura 29). Após o enchimento, virar a válvula 1 para a posição oposta no sentido do escape e registar a sua posição após estabilização da mesma.

Qualquer ajuste, afinação ou verificação dos sistemas de compensação (espiral, regulador de fluxo ou contra-peso) deve-se executar tendo em atenção as posições definidas pela determinação do volume da campânula.

##### b) 1 hora antes do ensaio

Ligar todos os equipamentos que se encontram dentro da sala de ensaio que possam influenciar as condições ambientais. Verificar a posição da campânula. Caso se verifique a alteração de posição que ponha em causa os resultados dos ensaios, dever-se-á identificar a causa de possível fuga e recolocar a campânula na sua posição superior.

##### c) Início do ensaio

i) Ligar ou iniciar o programa de registo de dados e introduzir ou confirmar valores de ensaio e condições de ensaio.

ii) Abrir válvula 4, de forma a descer a campânula até à sua posição inferior. Ligar ao sistema o instrumento de medição a verificar (contador), tendo especial atenção na sua ligação, para evitar fugas nesta posição (a aplicação de gel ou cera na ligação poderá ser aconselhada).

iii) Fecho da válvula 4, abrir a válvula 1 de 3 vias na direcção da fonte de ar e ligar sistema de alimentação de ar tendo em atenção a pressão de enchimento. Deste modo, elevando a campânula à sua posição superior novamente. De seguida virar novamente válvula 1 na direcção do instrumento de medição (escape).

iv) Verificar e registar a leitura do totalizador do contador. Executar contagem de tempo de escoamento do óleo no aplicativo. Este, ao fim do tempo estabelecido, dará indicação e nessa altura dever-se-á abrir a válvula 4 para início do ensaio propriamente dito. A válvula de regulação de fluxo deve ser orientada de forma a obter caudal volúmico estável, o qual é visível no programa de aquisição de dados. Este não deverá ultrapassar  $\pm 15\%$  para o caudal mínimo do contador e  $\pm 5\%$  para o caudal máximo do contador [39]. Esta regulação deve levar em conta que altera a pressão interna da campânula e deve ser regulada de forma que não ultrapasse o limite estipulado dessa variação se possível.

v) Após a descida da campânula verificar e registar leitura no contador e executar a paragem do registo no aplicativo. Executar registo dos valores ambientais.

vi) Para novo ensaio voltar a executar a partir do ponto iii inclusive. Executar tantos ensaios quanto necessários (aconselha-se um mínimo de 10 ensaios para cada caudal).

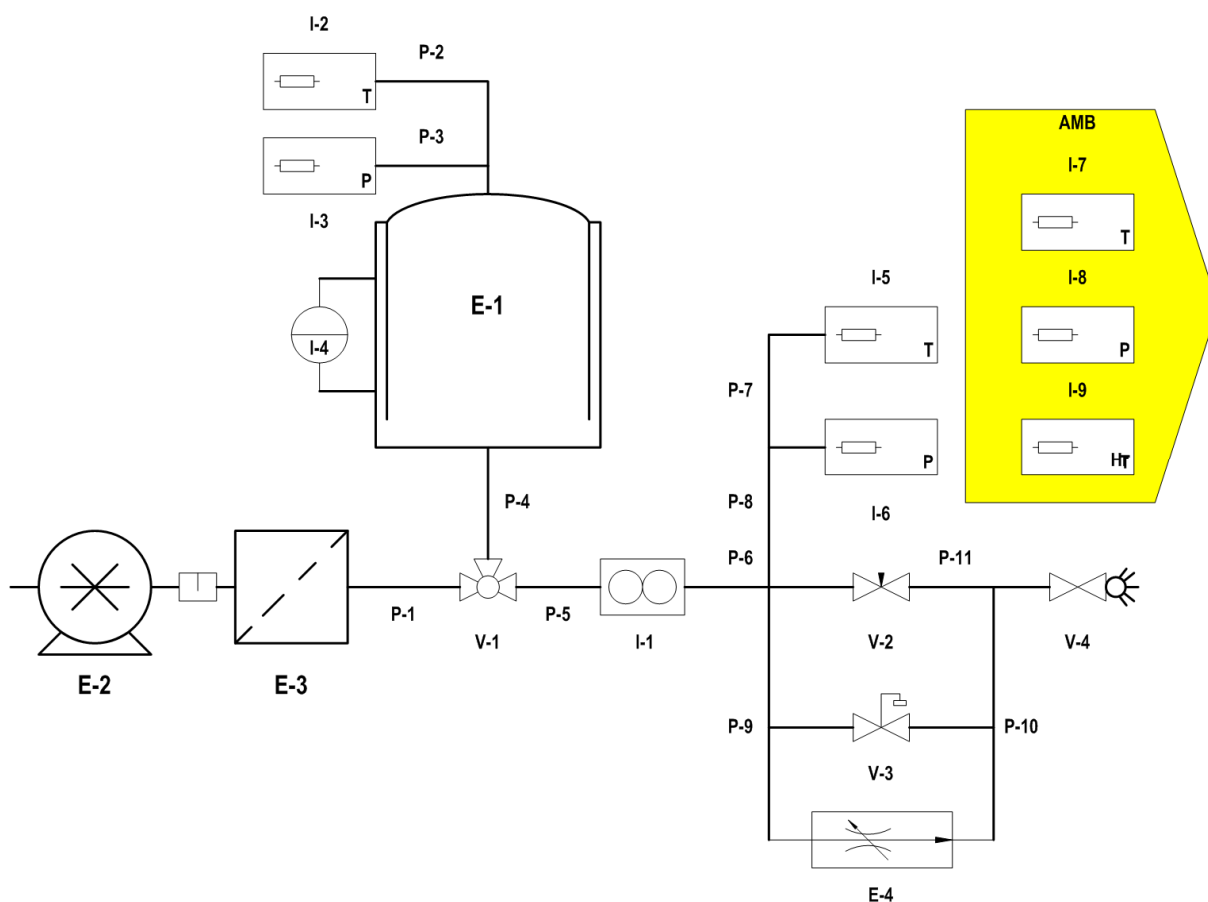


Figura 29 - Diagrama de processo

*E - Equipamentos*

*E-1 Gasómetro*

*E-2 Bomba de ar*

*E-3 Filtragem e regulação*

*E-4 Regulador de fluxo*

*P - Troços de tubagem ou ramais*

*V - Válvulas*

*V-1 Válvula de 3 vias (comando entrada/saída de ar do gasómetro)*

*V-2 Válvula de agulha ou fuso*

*V-3 Válvula de flutuação ou gravimétrica*

*V-4 Válvula de escape*

*I - Instrumentos de medição*

*I-1 Contador ou instrumento a calibrar*

*(mensuranda)*

*I-2 e I-3 Grandezas de entrada ou registos no gasómetro (temperatura e pressão)*

*I-4 Posicionador*

*I-5 e I-6 Grandezas de entrada ou registos na mensuranda (temperatura e pressão)*

*AMB I-7, I-8 e I-9 Grandezas de entrada ou registos ambientais (temperatura, pressão e humidade relativa)*

Nota 1: As válvulas 2 e 3 poderão auxiliar à regulação de caudal do ponto iv.

Nota 2: No ponto ii é assumido que no contador foram executados testes de estanquidade [39,40] e que os mesmos foram aprovados.

#### 5.6.10 Validação e cálculo

As seguintes equações são utilizadas para cálculo do volume no contador (83),

$$V_{Rm} = \frac{p_{RG} \cdot T_{Rm}}{p_{Rm} \cdot T_{RG}} \cdot V_{RG}$$

O seu erro (78),

$$e_{\%} = \frac{V_m - V_{Rm}}{V_{Rm}} \cdot 100 \% = \left( \frac{V_m}{V_{Rm}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

Para o cálculo da incerteza devem-se utilizar as seguintes expressões (87) e (98),

$$\begin{aligned} u^2(V_{Rm}) &= \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(p_{RG}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(T_{Rm}) + \\ &+ \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial p_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(p_{Rm}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial T_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(T_{RG}) + \left( \frac{\partial V_{Rm}}{\partial V_{RG}} \right)^2 \cdot u^2(V_{RG}) \\ u^2(e_{\%}) &= \left( \frac{V_m}{V_{Rm}^2} \right)^2 \cdot u^2(V_{Rm}) + \left( \frac{1}{V_{Rm}} \right)^2 \cdot u^2(V_m) \end{aligned}$$

Com o número de ensaios efectuado, devem utilizar-se as seguintes expressões,

Desvio-padrão experimental da média (29) a (32):

$$u(\bar{q}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

#### 5.6.11 Apresentação de resultados

- a) A incerteza deve ser exprimida na forma de incerteza expandida com (38),

$$U = k \cdot u(y)$$

com um factor de expansão de,  $k = 2$  para um intervalo de expansão de 95 %. Deverá ter no máximo dois algarismos significativos.

- b) Os resultados deverão ser apresentados de forma clara num relatório de ensaio ou certificado de calibração [19], identificando todos os elementos relevantes e específicos do ensaio: Relatório, formato, conteúdo, dados, etc.

#### 5.6.12 Manutenção e gestão

Para além das calibrações periódicas do padrão e dos equipamentos de medição, também as características do óleo deverão sofrer verificações periódicas (a sua massa volúmica e viscosidade cinemática). Caso estas se alterem significativamente, o óleo deverá ser substituído. Caso se verifique que este contém resíduos ou partículas sólidas, deverá ser filtrado por equipamento apropriado. A periodicidade destas verificações será definida pelas próprias, mas aconselha-se uma periodicidade inicial de 6 meses, caso não ocorra facto relevante que possa alterar as características significativamente (ex.: intervenções no gasómetro, se forem necessárias deve-se executar a trasfega do óleo para depósito apropriado).

O procedimento de detecção de fugas deverá ser realizado regularmente para evitar a sua detecção no tempo de pré-ensaio e durante o mesmo.

Todas as intervenções nos equipamentos do sistema deverão ser registadas, inclusive pequenos ajustes, técnicas adicionais, ou alterações na tentativa de melhoramento do funcionamento do gasómetro e dos sistemas de compensação existentes.

#### 5.6.13 Funcionamento e volume da campânula

- a) Volume exterior

O volume da campânula poderá ser estimado com esta na sua posição de funcionamento no gasómetro. Para isso, dever-se-á medir com padrão apropriado o diâmetro exterior da secção cilíndrica da campânula, em duas posições perpendiculares ou antípodas (ver figura 30), e em pelo menos dez alturas distintas e equidistantes na mesma secção para o curso pretendido<sup>9</sup>. Cada medição deverá ser repetida pelo menos dez vezes por razões de repetibilidade. A técnica poderá ser mais ou menos elaborada, dependendo do rigor pretendido e da uniformidade da secção cilíndrica da campânula. Obtendo-se uma média, calcula-se o seu volume exterior.

---

<sup>9</sup> Recorde-se que existe uma secção considerável da base da Campânula mergulhada no óleo, da qual não é necessária a sua medição.

Esta medição pode ser obtida igualmente através da medição do perímetro da mesma, mas não se aconselha por razões de incremento da incerteza<sup>10</sup>.

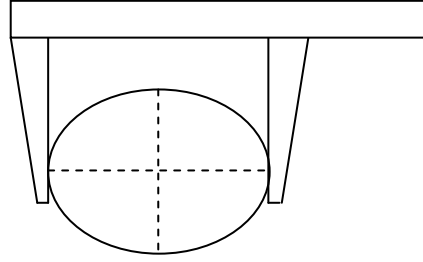


Figura 30 - Esquema de medição de diâmetro exterior da campânula

#### b) Volume interior da campânula

Para calcular o volume interior da campânula ir-se-á proceder à determinação do volume imerso. Abrindo as válvulas do gasómetro para escape do ar e a abertura no topo da campânula (para descida despressurizada da campânula) e fecho da válvula de ligação ao depósito do contra-peso. Medir nível do óleo com a campânula na sua posição superior e novamente com a descida completa da campânula, com as seguintes expressões (44),

$$V_{im} = \frac{\pi}{4} \cdot (DE^2 - DI^2) \cdot l_{i \rightarrow f}$$

$$V_{im} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{DEP}^2 - DE^2 + DI^2) \cdot h_{i \rightarrow f}$$

Obtendo o diâmetro interior do depósito  $D_{DEP}$ , tem-se

$$DI = \sqrt{DE^2 - D_{DEP}^2 \cdot \frac{h_{i \rightarrow f}}{h_{i \rightarrow f} + l_{i \rightarrow f}}} \quad (99)$$

Obtendo assim o valor do diâmetro,  $DI$  com o curso efectuado,  $l_{i \rightarrow f}$  para o desnível de óleo verificado,  $h_{i \rightarrow f}$  com a seguinte expressão chega-se ao volume interior da campânula com a equação (54),

$$V_C = \frac{\pi}{4} \cdot DI^2 \cdot l_{i \rightarrow f}$$

#### c) Sistemas de compensação

A verificação destes sistemas deve ser executado pela seguinte ordem (caso existam)<sup>11</sup>:

**Contra-peso:** O objectivo principal é o de anular por completo o desnível de óleo devido ao volume imerso da campânula, de modo a obter os melhores resultados nos restantes sistemas de compensação e na exactidão da obtenção do volume interno da campânula.

Com o processo idêntico ao da obtenção do volume interno (campânula despressurizada), com a deslocação da campânula, ajustar os acessórios de fixação ajustável que fixam os cabos de aço na campânula e no contra-peso até se atingir o objectivo.

<sup>10</sup> Se visualmente for detectado alguma imperfeição na superfície dever-se-ão concentrar ou executar maior número de medições na zona suspeita.

<sup>11</sup> O sistema de regulação de fluxo poderá ser constituído por diversos equipamentos como válvula de agulha, válvula de controlo por nível de referência ou regulador de fluxo (ver figura 29).

Nota: O contra-peso poderá necessitar de ajuste por desbaste na sua secção.

**Espiral:** O objectivo principal é o de manter a pressão interna da campânula tão estável quanto possível devido a fenómeno de impulsão da campânula, de modo a obter os melhores resultados nos restantes sistemas de compensação, na exactidão da obtenção do volume interno da campânula e na regulação de fluxo.

Nota: A espiral poderá necessitar de ajuste na sua forma.

**Regulador de fluxo:** O funcionamento do gasómetro prevê a sua utilização para cálculo de volumes transaccionados a caudais volúmicos estáveis [39], para além de ser possível aferir caudais volúmicos instantâneos e médios. Deste modo, a tradicional utilização do gasómetro regulando o seu fluxo colocando mais ou menos pesos no seu contra-peso, tornar-se-ia fastidioso e inexacto. O regulador de fluxo, com ou sem os restantes sistemas de compensação, permite essa regulação de modo simples e prático, apenas condicionado pela regulação do operador durante o ensaio com a indicação desse caudal. Esta prática é de sobre importância caso não existam os restantes meios de compensação.





## 6. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

### 6.1 Linguagem de programação *LabVIEW*

Com o intuito de dotar o sistema da flexibilidade e dos recursos de instrumentação necessários para o funcionamento do gasómetro, foi seleccionado o *LabVIEW*<sup>12</sup> para desenvolver um programa para aquisição, registo e até controlo dos dados adquiridos ao sistema, tais como: sinais de pressão, temperatura e posicionamento da campânula durante o funcionamento do gasómetro. Este aplicativo de *software* permite a ligação a inúmeros tipos e marcas de equipamentos de aquisição de dados, de entre os quais os da própria marca *National Instruments*.

Na calibração da campânula, o tratamento de dados por parte do *LabVIEW* não é possível devido a uma parte da instrumentação ter aplicação manual, não deixando de registar as restantes medições para análise posterior.

### 6.2 Programação<sup>13</sup>

No *LabVIEW* são criados programas chamados *Virtual Instruments (VI's)*. Basicamente, define-se como uma linguagem de blocos de funções, que são estruturados de modo a obter o encadeamento ou os resultados pretendidos. Estes blocos são colocados numa janela chamada *Block Diagram* (ver figura 31). Estes blocos podem ter variadíssimas **funções**, como: aquisição (entradas), tratamentos (funções, filtragem, interpolação, etc.), actuação ou controlo (visual ou saídas), gravação, comparações, etc. São seleccionados a partir de uma paleta chamada *Functions Palette*. De igual modo, existe uma outra janela *Front Panel*, onde se introduzem os módulos de visualização (**controlos**). Estes módulos são introduzidos através de uma janela *Controls Palette* (ver figura 32), onde existem também inúmeras funcionalidades de visualização e controlo.

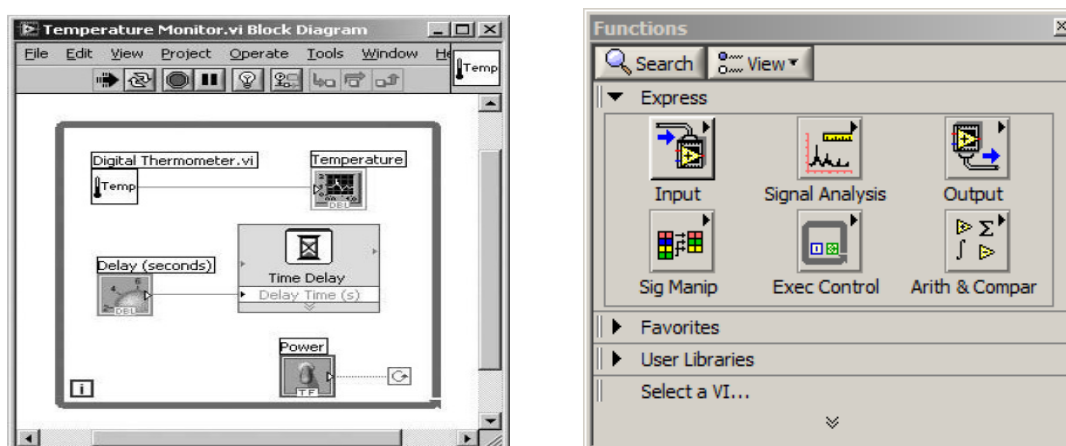


Figura 31 - Block Diagram e Functions Palette

<sup>12</sup> O *LabVIEW* é uma aplicação de software e marca protegida por direitos pertencentes à National Instruments.

<sup>13</sup> Neste aplicativo são utilizadas expressões em língua inglesa e, devido à sua aplicação e compreensão, foram utilizadas sem qualquer alteração ou tradução.

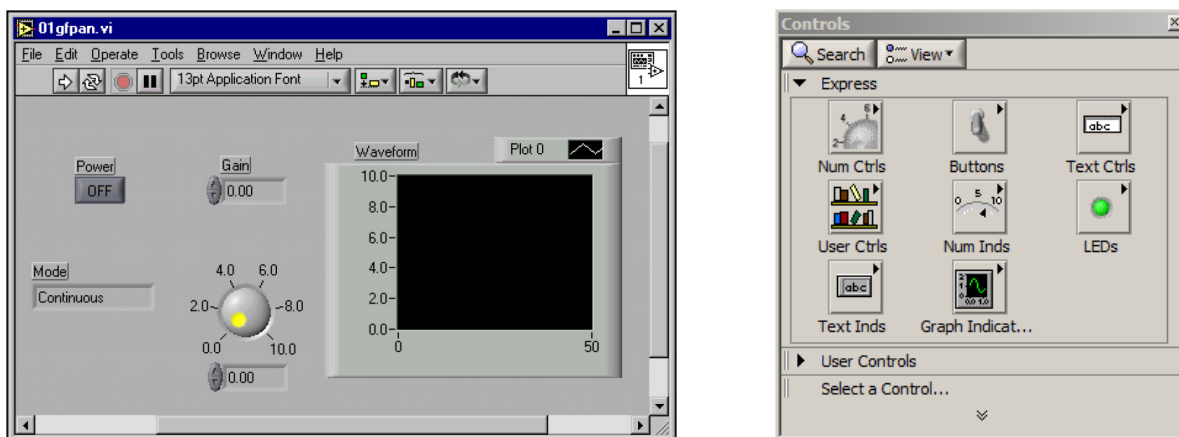


Figura 32 - Front Panel e Controls Palette

A introdução de funções no *Block Diagram* poderá criar controlos no *Front Panel* e a introdução de funções no *Front Panel* cria controlos no *Block Diagram*, que deverão ser integrados com restante programa (ver figura 33).

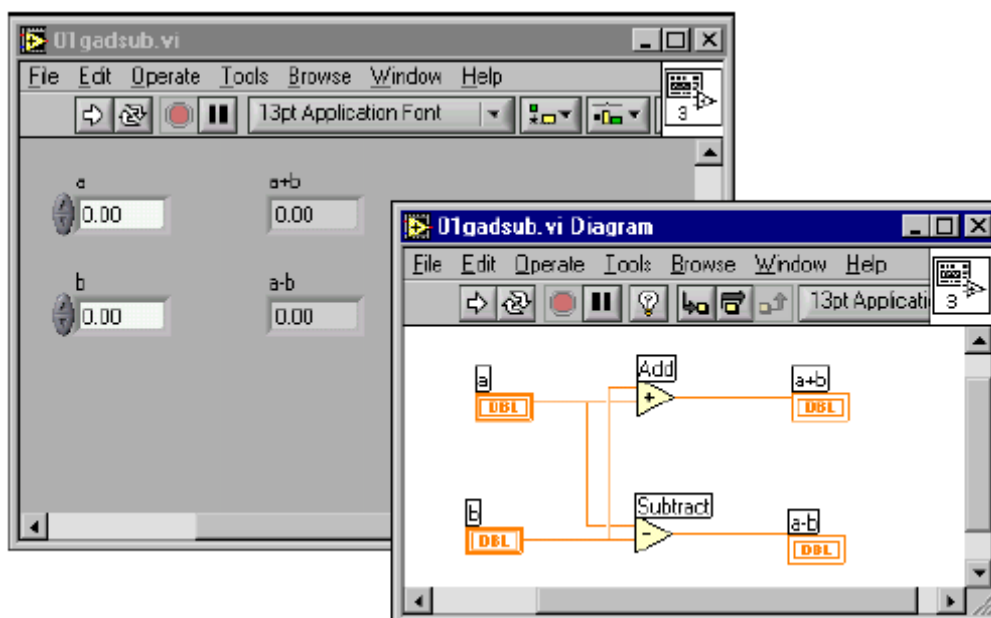


Figura 33 - Interligação entre funções e controlos nas duas janelas (Front Panel e Block Diagram)

A aquisição dos valores ambientais (humidade relativa, pressão atmosférica) deverá ser executada manualmente pelo operador e os valores obtidos introduzidos no aplicativo. Os valores das variáveis cuja aquisição será feita através do *LabVIEW* são as pressões relativas, as temperaturas no gasómetro e no contador e ainda o sinal oriundo do posicionador (*encoder*) colocado no topo da campânula para indicar a sua posição vertical. Estes instrumentos terão conversores analógico-digitais e entradas normalizadas e calibradas no equipamento de interface do *LabVIEW*.

### Programa de aquisição de dados

O desenvolvimento do aplicativo no *LabVIEW* está intimamente ligado com a metodologia das calibrações a efectuar. Assim, tal como ao longo do documento foram elaboradas definições e condições, estas têm continuação e aplicação no programa desenvolvido e serão elaboradas na forma de metodologia de ensaio definida.

Na figura 34 encontra-se o fluxograma do programa. Este baseia-se num funcionamento cíclico, de diversos ensaios, com a aplicação sempre em actividade, e dependente do controlo do utilizador para início e fim de cada ensaio (*ON/OFF*). Apenas no período *ON* o sistema efectua o devido registo, não deixando de obter leituras durante toda a sua actividade.

Com o arranque do aplicativo devem ser introduzidos ou verificados os valores respeitantes às variáveis ambientais, nos limites estabelecidos. Finda a preparação do ensaio, deverá ter início a contagem do tempo de escoamento do óleo com *ON* ligado, ao fim do qual se inicia o registo. A indicação de fluxo deve ser verificada e regulado manualmente, de forma a o estabilizar ao longo da descida da campânula.

Com a chegada da campânula à sua posição inferior deverá ser interrompido o registo com *OFF*. De notar que o registo é efectuado automaticamente com a criação de um ficheiro por cada ensaio.

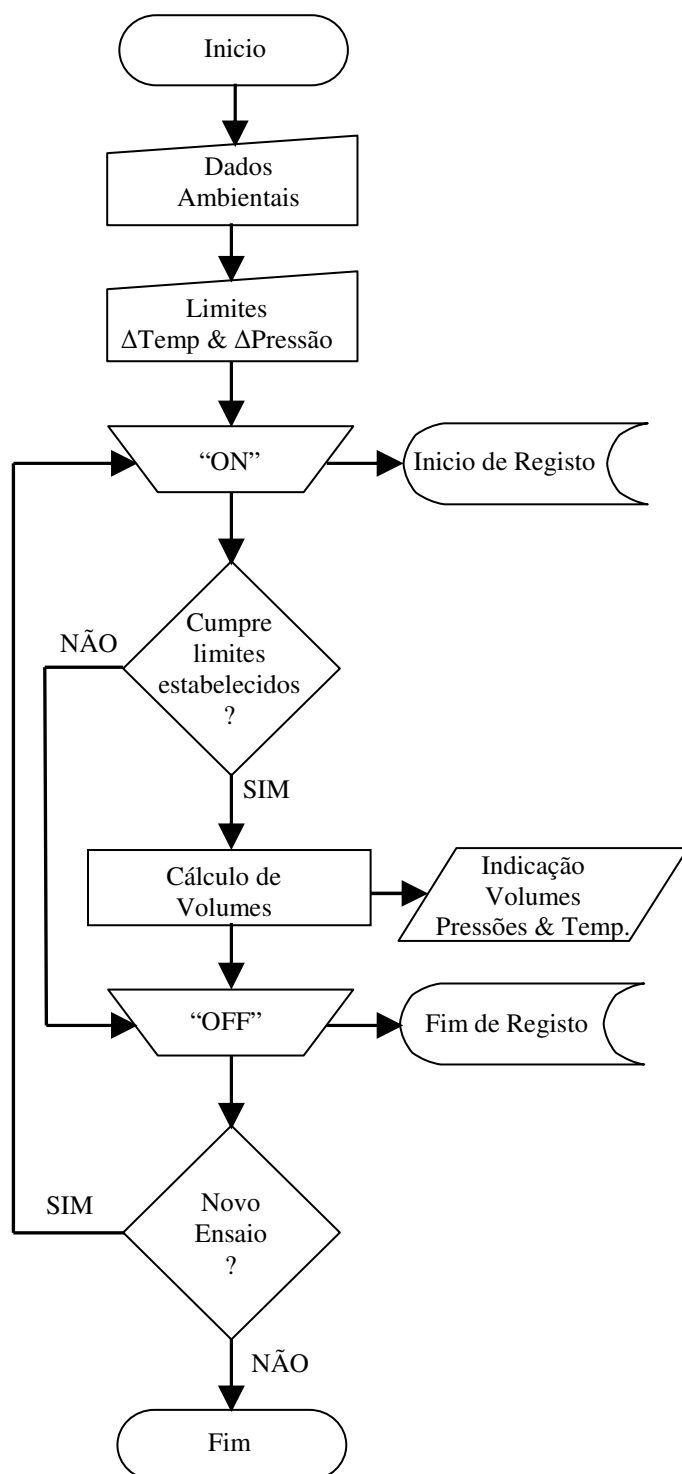


Figura 34 - Fluxograma de aplicativo desenvolvido em ambiente LabVIEW

Na figura 35 mostra-se aspecto geral do *Front Block*. A luminária por cima do indicador do tempo de ensaio, que inclui o tempo de escoamento do óleo acende após decorrido o tempo estabelecido, dando indicação ao operador para o início da descida da campânula. As luminárias junto aos limites estabelecidos dão indicação caso estes sejam ultrapassados.

A indicação mais importante do sistema está identificada como “Volume m (l)”, que é o volume corrigido na mensuranda em litros.

Todas as unidades estão no Sistema Internacional, em valores absolutos, com excepção dos volumes e do caudal, que, para uma visualização mais fácil, estão em litros e litros por minuto, respectivamente.

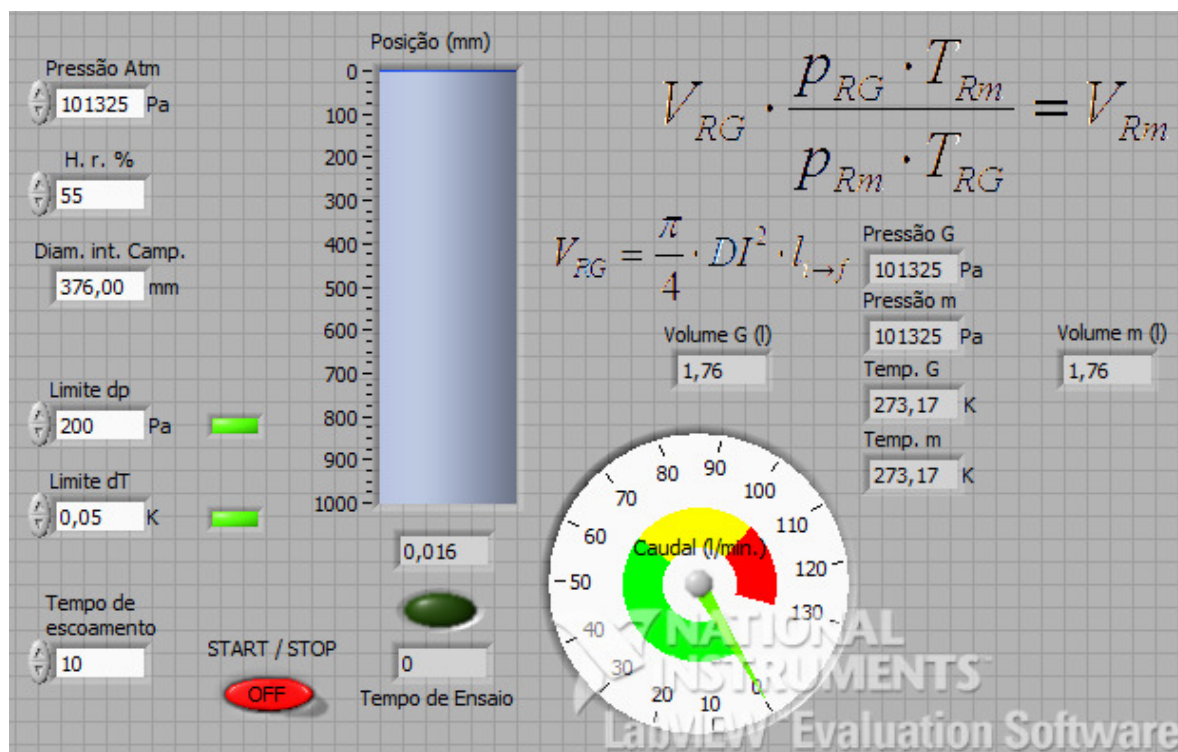


Figura 35 - Front Panel do programa do gasómetro

Na figura 36 encontra-se o *Block Diagram* cujas características principais, recorrendo ao fluxograma da figura 34, são os módulos de aquisição de dados, *DAQ Assistant* o tratamento com as equações do modelo físico, *Formula* o registo em ficheiro, *Write To Measurement File* com a introdução de dados e indicação de leitura dos resultados obtidos.

Existem outros módulos que são inerentes ao funcionamento do *LabVIEW*, como por exemplo o módulo *Time Delay* para controlar a amostragem de aquisição e indicação, o sistema de interruptor para controlo da aplicação, o módulo *Elapsed Time* para controlar e dar indicação ao utilizador dos tempos de ensaio, etc.

Nota: Devido às potencialidades do *LabVIEW*, o sistema permite a evolução com os sistemas de controlo adicionais, a automatização do gasómetro. As vantagens são as da libertação do operador e consequentemente aumentar o número de observações, podendo deste modo diminuir a incerteza do tipo A, ou erros devidos à operacionalidade manual. Estas poderão prolongar as calibrações.

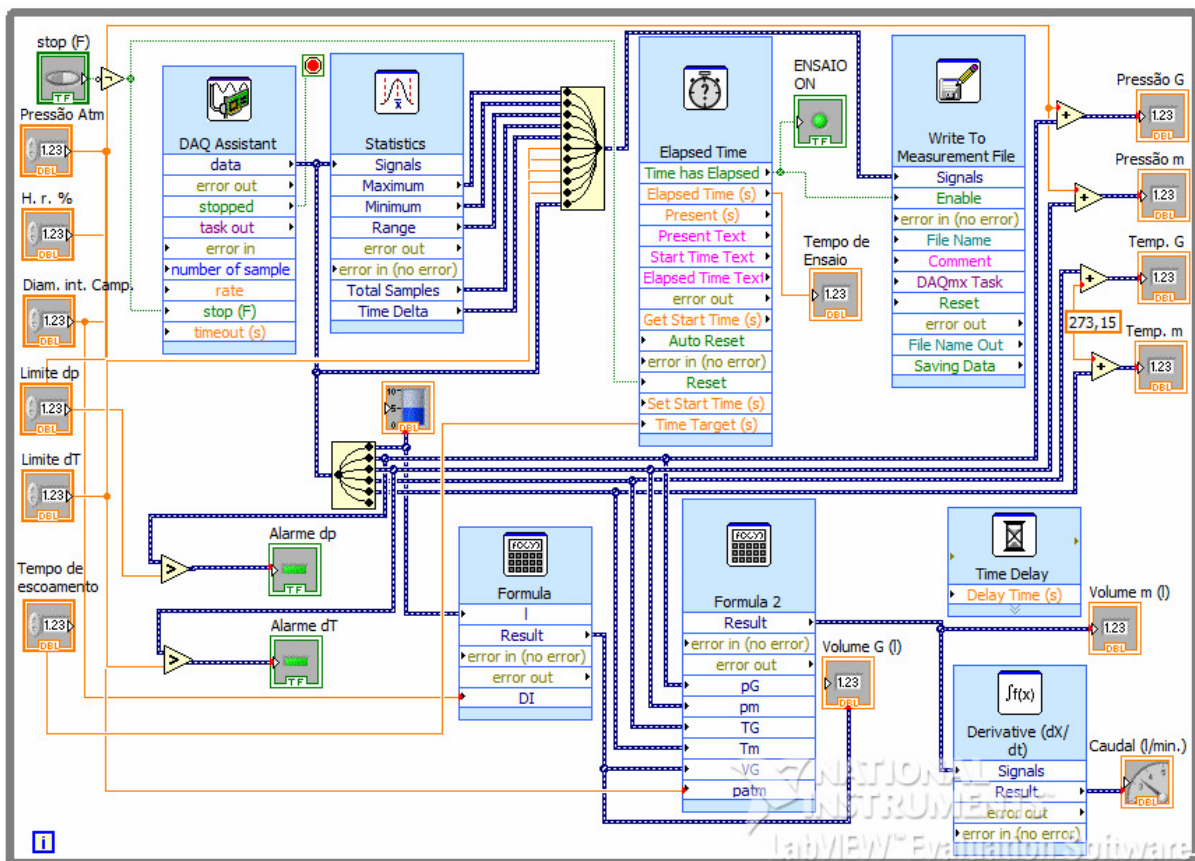


Figura 36 - Block Diagram do programa do gasómetro

Esta aplicação poderá ainda evoluir para cumprir requisitos solicitados no futuro, como por exemplo a introdução dos sinais dos contadores ou dos caudalímetros e fazer o ajuste dos sensores conforme seus certificados de calibração, quer sejam lineares ou não.



## 7. CONCLUSÕES

A importância de equipamentos como o desenvolvido na presente tese na estrutura metrológica Nacional e no Sistema Português da Qualidade vem dar relevância à necessidade de um padrão Nacional de medição do caudal de gás. De outra forma, os equipamentos utilizados em Portugal ficam dependentes de uma rastreabilidade de padrões internacionais ou da inexistência total dessa rastreabilidade. Durante o estudo, algumas pesquisas efectuadas revelaram a profusão internacional destes equipamento e, países com índices de industrialização e de competitividade semelhantes, ou inferiores, a Portugal e de semelhante ou inferior dimensão, como a Hungria, a Croácia e a Grécia possuem o tipo de equipamento concebido e desenvolvido na presente tese.

No que diz respeito ao potencial de utilização de um equipamento como o concebido, este é enorme, podendo ser utilizado no mercado energético (gás natural, propano, butano, etc.), em aplicações industriais (gases de aplicações industriais, para soldadura por exemplo), ou até para uso medicinal, seja nos hospitais, farmacêuticas ou afins, onde existe um controlo geralmente efectuado pelos fornecedores com cariz gravimétrico e volumétrico. Mas menosprezando a importância das condições em que estas medições são obtidas, desse modo é causado uma disparidade económica entre os bens transaccionados.

A conclusão técnica mais importante neste estudo é que o diâmetro ou a secção da campânula é a característica que mais contribui para a capacidade e o cálculo da incerteza do gasómetro. Como tal, é onde se deverão centrar as atenções no funcionamento conforme os parâmetros solicitados. A análise das incertezas revela outras variáveis importantes, como os diferenciais de temperatura ou de pressão, que, apesar de influenciarem em menor grau, são de importância suficiente para poder alterar a qualidade dos resultados obtidos.

Os sistemas de compensação e de ajuste (contra-peso, espiral, etc.) são importantes e deverão ser frequentemente verificados, de forma a evitar que outras variáveis interfiram com a incerteza ou com o funcionamento do gasómetro.

A inclinação da campânula, durante a sua deslocação, deve ser praticamente inexistente, se forem cumpridos os parâmetros de concepção e dimensionamento do gasómetro.. Deve-se verificar esta conjuntura durante os primeiros ensaios e na determinação do volume da campânula. Caso a inclinação seja significativa, os sistemas de ajustamento do guiamento devem ser corrigidos.

A estrutura foi dimensionada tendo em consideração a estrutura inicial de depósito exterior existente, esta restringe a capacidade de teste de volume transaccionado a contadores do tipo G4. A existência de um depósito com um maior diâmetro poderia permitir atingir maiores capacidades, não só em volume como em tempo útil de cada ensaio.

Experimentalmente poderão existir ainda outras situações que interfiram com o correcto funcionamento do gasómetro, como por exemplo o atrito da campânula no seu guiamento ou a colocação correcta dos meios de compensação. Estas situações são importantes para a identificação e resolução experimental e definirão os parâmetros de funcionamento do gasómetro.

Foram seleccionados com razoável relação qualidade preço, de modo a conseguir-se obter resultados bastante satisfatórios na incerteza do gasómetro (relembrando a incerteza expandida relativa de 0,17 %), não esquecendo que a melhoria continua através do funcionamento repetitivo e da respectiva análise irão permitir obter resultados inferiores de incerteza.

Para além do referido, devem ser considerados os diversos modelos e capacidades do gasómetro a implementar, outros sistemas como o *Piston Prover* e o *Sonic Nozzle*, de forma a obter plenas capacidades de interastreabilidade no LCM. Na consideração do investimento, ou numa fase posterior, deverá ser considerada a completa automatização do sistema. Todo o desenvolvimento deixou em aberto a possibilidade deste estudo evoluir para a completa automação do gasómetro, de forma a aumentar a sua capacidade de trabalho independente do operador e, através da repetibilidade, diminuir a incerteza.



## REFERÊNCIAS

- [1] Decreto de Lei. 142/2007 de 27 de Abril
- [2] SPQ – Sistema Português da Qualidade, Carlos Sousa, CATIM, 2008
- [3] Portaria nº 34/2007 de 8 de Janeiro
- [4] *Estudo qualitativo de viabilidade de construção de gasómetro para o Laboratório de volumes*, Engº Mário Martins, 2006
- [5] *VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia, Guia ISO/IEC 99*, Versão Portuguesa, 3ª Ed., IPQ, 2008
- [6] Luis Adriano Oliveira, António Gameiro Lopes, *Mecânica dos Fluidos*, ETEP, 2006
- [7] Michael Reader-Harris, *The Elements of Pipe Flow and Basic Metering Concepts*, NEL, 2005
- [8] [www.Galp.pt](http://www.Galp.pt)
- [9] *ENV-MAQ-205 – Calibration of Air Sampling Stations & ENV-MAQ-255 – Using The Bell Prover To Calibrate Flow Calibrators*, Los Alamos National Laboratory, 2004
- [10] *ISO 9300 – Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles*
- [11] Joseph R. Davis, *Stainless Steels*, ASM International Handbook Committee, 1994
- [12] *EN 1993 – Eurocode 3: Design of steel structures*, CEN
- [13] Dec. Lei 222/88, Aditamento ao Dec. Lei 427/83
- [14] Henry Bednar, *Pressure Vessel Design Handbook*, Krieger Publishing, 1991
- [15] Warren C. Young, Richard G. Budynas, *Roark's Formulas Stress & Strain*, 7<sup>th</sup> Ed., McGraw Hill, 2001
- [16] A. C. Ugural, *Stresses in Plates and Shells*, William C. Brown, 1998
- [17] Sarkis Malconian, *Elementos de Máquinas*, Érica, 1990
- [18] *R.E.A.E. - Regulamento para Estruturas de Aço de Edifícios* – Decreto de Lei 46160 de 19/01 de 1965
- [19] *ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração*, IPQ
- [20] A.J. Ward Smith, *The effect of oil films on the performance of Bell Provers*, 1976
- [21] Tom Kegel, *Statistical Control Measurement Process*, Colorado Engineering Experiment Station, 2001
- [22] Joseph Shigley, Charles Mischke, *Standard Handbook of Machine Design*, 3<sup>rd</sup> Ed., 2004
- [23] *ISO 5168-1978 - Measurement of fluid flow - Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement*
- [24] *GUM - Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração*, IPQ, 1998
- [25] *Ten Theses for a New GUM, Posterpaper*, PTB-BIPM Workshop on the Impact of Information Technology in Metrology, Berlin, 2007
- [26] *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, EA-European co-operation for Accreditation, Publication ref. 4/02, 1999

- [27] *EUROMET Project No 425 – An Inter-comparison of Bell Prover Facilities at Twelve European Laboratories Using a Rotary gas meter*, NEL, 2000
- [28] Paton, Richard, *NEL Calibration and Standards in Flow Measurement* - reproduced from the *Handbook of Measuring System Design*, John Wiley & Sons, 2005
- [29] Wright, John e Mattingly, George E., *NIST Special Publication 250 – 49*, NIST, 1998
- [30] Tomislav Stasic, Nastia Degiuli, Lovorka Grgec Bermanec, *Experimental Characterisation of a Bell Prover*, Zagreb, 2007
- [31] *GS-ENG-04-06: Automated Master Bell Provers - Recommendations for The Determination of Measurement Uncertainty*, v2.0, Measurement Canada, 2007
- [32] *GS-ENG-06-08: Dimensional Determination of Bell Prover Displaced Volumes - Recommendations for The Determination of Measurement Uncertainty*, v2.0, Measurement Canada, 2007
- [33] D. A. Todd, *NPSL Method for Calibrating Bell Provers*, Navy Primary Standards Laboratory, San Diego, 1996
- [34] *OIML D23 - Principles of metrological control of equipment used for verification*, 1993
- [35] *Displacement Gas Meters*, American Meter Company, 1965
- [36] Cignolo, *The National Standard Gas Provers of The IMGC-CNR*, Flomeko 2000
- [37] *Installation, operation, maintenance and calibration of American bell-type provers*, American Meter Company, 1965
- [38] *NP 1814:1984 - Contadores de gás, volumétricos, de paredes deformáveis, para uso doméstico. Primeira verificação e verificação periódica ou extraordinária*, IPQ.
- [39] *NP 1813:1985 - Contadores de gás, volumétricos, de paredes deformáveis, para uso doméstico. Características e ensaios de aprovação do modelo*, IPQ.
- [40] *OIML R31 - Diaphragm gas meters*, 1995

## BIBLIOGRAFIA

Wright, J. D. and Mattingly, G. E.. *NIST Calibration Services For Gas Flow Meters: Piston Prover and Bell Prover Gas Flow Facilities*, NIST SP 250-49, 1998

Todd, D. A., *NPSL Method for Calibrating Bell Provers*, Technical Report: Navy Primary Standards Laboratory Code 4.1.4.5.0, 1996

A. N. Johnson, J. D. Wright, *Gas Flowmeter Calibrations with the 26 m<sup>3</sup> PVTt Standard*, NIST SP 1046

Wright J. D., Pedro I. Espina, *Flow Calibration Services at NIST*, NIST

*Vocabulário Internacional de Metrologia*, GUIA ISO / IEC 99, IPQ, 2008

Warren C. Young and Richard G Budynas, *Roark's Formulas for Stress and Strain*, McGraw Hill, 2002

Joseph Shigley, Charles Mischke, and Thomas H. Brown, *Standard Handbook of Machine Design*, McGraw Hill, 2004

Shigley Joseph Edward, *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, First Metric Edition, 1986

Michael Reader-Harris, *The Basic Principles and Practice of Flow Measurement*, NEL, 2005

Lombard Matt, *SolidWorks® Bible 2007*, Wiley Publishing, 2007

A. Silva, Carlos Tavares Ribeiro, João Dias, Luís Sousa, *Desenho Técnico Moderno*, 7ª Ed., 2004, LIDEL

Peter Sydenhan, Richard Thorn, *Handbook of Measuring System Design*, John Wiley & Sons, 2005

Moura Branco, *Mecânica dos Materiais*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985

Luis Veiga da Cunha, *Desenho Técnico*, Fundação Calouste Gulbenkian, 6ª Ed., 1984

*Getting Started with LabVIEW*, National Instruments, 2003

Roger Timings, *Mechanical Engineer's Pocket Book*, Newnes, 3<sup>rd</sup> Ed., 2006

Henri Baumann, Giorgio Cignolo, Mário Clausen, Roberto Gorla, *EUROMET Project No 852: A comparison between Italian and Swiss gas flow standards in the range 0.3 m<sup>3</sup>/h to 25 m<sup>3</sup>/h*, Metrologia journal, 2008

*PS-G-02-E (rev. 2) - Provisional Specifications for Sealant Oil used in Bell Provers*, Measurement Canada, 2004

SOPROCOM - Serviço de desenvolvimento e Qualidade, Verificação de Gasômetros

## **ANEXOS**



## VALORES UTILIZADOS

Tabela 12 – Valores obtidos e utilizados em cálculo

$A_m$	Área da secção metálica do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)	$3,625 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
$C_{adm}$	Carga admissível do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)	1 kN
$C_{rot}$	Carga de rotura do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)	5 kN
$d$	Diâmetro nominal do cabo de aço (utilizado na suspensão da campânula)	1,35 mm
$D_{Camp}$	Diâmetro nominal para efeitos de cálculo de espessura da campânula	0,380 mm
$D_{DEP}$	Diâmetro do depósito	0,450 m
$DE$	Diâmetro exterior da campânula	0,382 mm
$DI$	Diâmetro interior da campânula	0,376 mm
$e$	Espessura da secção cilíndrica da campânula	3 mm
$e_{sol}$	Coeficiente de eficiência de soldadura na campânula	0,9
$f_R$	Folga radial entre campânula e depósito do gasómetro	34 mm
$g$	Aceleração da gravidade	$9,806 \text{ 65 m/s}^2$
$h_{i->f}$	Desnível do óleo no depósito devido à imersão da campânula	22,975 mm
$j$	Folga horizontal máxima da campânula	3 mm
$l$	Altura da secção cilíndrica da campânula (versão expandida)	1,4 m
$l_{col}$	Altura da coluna	1,5 m
$l_{i->f}$	Curso da campânula admitido para a geração de volume	1 m
$P$	Peso da campânula (majorado para efeitos de cálculo inicial)	600 N
$\Delta p_l$	Queda de pressão entre campânula e a mensuranda	50 Pa
$\Delta p_{RG}$	Pressão relativa de trabalho da campânula	2 000 Pa (20 mbar)
$P_{adm}$	Força admissível aplicada à coluna	3 757,89 N
$p_{atm}$	Pressão atmosférica	101 325 Pa
$R; r$	Raio exterior e interior respectivamente da coluna	13,44 mm; 11,44 mm
$r_{CP}$	Raio do contra-peso	33,72 mm
$r_{Dep}$	Raio do depósito	0,225 m
$r_e$	Raio exterior da campânula	0,191 mm
$r_i$	Raio interior da campânula	0,188 mm
$R_r$	Raio das rodas do gasómetro	0,191 mm
$t$	Espessura do topo da campânula	10 mm
$T$	Temperatura absoluta (genérica)	
$T_{esc}$	Tempo estabelecido para o escoamento do óleo (prévio a cada descida da campânula)	3 min.
$T_{Final}, t_{Proj}, t_{enformação}, t_{corrosão}$	Espessuras para expressão do cálculo da espessura da campânula	
$t_M$	Tempo de ensaio de contadores de gás ao caudal mínimo	20 min.
$t_m$	Tempo de ensaio de contadores de gás ao caudal máximo	60 s
$\Delta T_l$	Diferença de temperatura entre campânula e mensuranda	0,3 K

$\alpha_{Al}$	Coeficiente de expansibilidade térmica do alumínio (a 20 °C)	$23,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
$\alpha_{SS}$	Coeficiente de expansibilidade térmica do aço AISI 304 (0 a 100 °C)	$17,3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
$\mu$	Coeficiente de atrito de Teflon® (PTFE)	<0,1
$\nu$	Coeficiente de Poisson	0,29
$\nu_k$	Viscosidade cinemática do óleo (a 20 °C)	3 a 30 cSt
$\rho_{Al}$	Massa volúmica do alumínio	$2,7 \text{ g/cm}^3$
$\rho_{Óleo}$	Massa volúmica do óleo	$0,88 \text{ kg/dm}^3$
$\rho_{SS}$	Massa volúmica do aço AISI 304	$8 \text{ g/cm}^3$
$\sigma_{adm}$	Tensão admissível do aço AISI 304 (Factor de segurança, F.S. = 2)	103,5 MPa
$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência do aço AISI 304	207 MPa



## **FABRICANTES**

Listagem breve de diversos fabricantes de materiais diversos:

FTImeters

Instromet ([instrometinc.com](http://instrometinc.com))

Dupont

Elster

American Meter Company ([americanmeter.com](http://americanmeter.com))

Emerson ([emerson.com](http://emerson.com); [emersonprocess.com/brooks](http://emersonprocess.com/brooks))

Actaris

AtlasCopco

Festo

Fairchild ([fairchildproducts.com](http://fairchildproducts.com))

Asco Joucomatic ([ascojoucomatic.com](http://ascojoucomatic.com))

Shell

Fuchs ([fuchs-oil.com](http://fuchs-oil.com))

Wika ([wika.de](http://wika.de))

Eltra ([eltra.it](http://eltra.it))

Kübler ([kuebler.com](http://kuebler.com))

National Instruments

Cimaf ([cimaf.com.br](http://cimaf.com.br))

WireCo ([wrca.com](http://wrca.com))

SKF

FAG

Van Beest ([greenpin.com](http://greenpin.com))

Bürkert

Soler & Palau ([soler-palau.com](http://soler-palau.com))

## **INTERNET**

MIT OCW Mechanical Engineering (Massachusetts Institute of Technology - Open Course Ware)

Constructalia.com

Matweb.com

xcalcs.com

tribology-abc.com

wakates.com



## FOLHA DE CÁLCULO

É apresentada uma folha de cálculo; a da espiral.

Tabela 13 - Cálculo da espiral

$F_{imp} = \rho g V$	4	Kgf		9,80665	m/s <sup>2</sup>
	880	Kg/m <sup>3</sup>	raio da roda	0,191	m
			raio exterior da campânula	0,191	m
			raio interior da campânula	0,188	m
h	b	<°	x	y	Perimetro de enrolamento
0,000	0,000	90,000	0,000	0,000	0,000
0,010	0,002	93,000	0,000	0,001	0,000
0,020	0,003	96,000	0,000	0,003	0,000
0,030	0,005	98,999	-0,001	0,004	0,000
0,040	0,006	101,999	-0,001	0,006	0,001
0,050	0,008	104,999	-0,002	0,007	0,001
0,060	0,009	107,999	-0,003	0,009	0,002
0,070	0,011	110,998	-0,004	0,010	0,002
0,080	0,012	113,998	-0,005	0,011	0,003
0,090	0,014	116,998	-0,006	0,012	0,004
0,100	0,015	119,998	-0,008	0,013	0,004
:	:	:	:	:	:
0,950	0,143	374,979	0,138	0,037	0,358
0,960	0,144	377,979	0,137	0,044	0,366
0,970	0,146	380,979	0,136	0,052	0,374
0,980	0,147	383,978	0,134	0,060	0,381
0,990	0,149	386,978	0,132	0,067	0,389
1,000	0,150	389,978	0,130	0,075	0,397
1,010	0,152	392,978	0,127	0,083	0,405
1,020	0,153	395,977	0,124	0,090	0,413
1,030	0,155	398,977	0,120	0,097	0,421
1,040	0,156	401,977	0,116	0,104	0,429
1,050	0,158	404,977	0,111	0,111	0,437

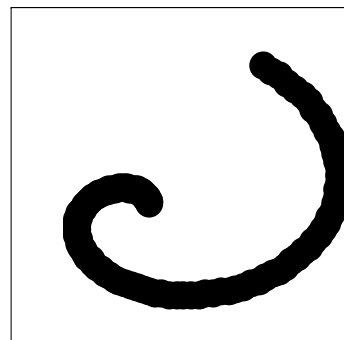


Figura 37 - Espiral



## ORÇAMENTO

Este orçamento não inclui possível utilização de recursos próprios do Laboratório Central de Metrologia, tais como: Computador, Mão-de-obra, licença de Labview, etc. Alguns valores são estimados.

*Tabela 14 - Orçamento*

<b>Empresa</b>	<b>Designação</b>	<b>Qt.</b>	<b>Preço (s/ IVA)</b>	<b>Total</b>
JOCA	Construção mecânica e montagem	1	11.820€	11.820€
António Moutinho	Transmissor de Pressão Wika 250 mbar	2	247€	494€
António Moutinho	Sonda de temperatura PT100 Classe A com transmissor	2	95€	190€
LA2P	Encoder e Indicador com saída analógica Kübler	1	845€	845€
National Instruments	Sistema de aquisição de dados 6211	1	584€	584€
<i>(estimativa)</i>	Válvulas, reguladores e tubagem	1	1.000€	1.000€
Actaris <i>(estimativa)</i>	Contador Gallus 2000 com conta impulsos	1	200€	200€
SHELL <i>(estimativa)</i>	SHELL Diala oil DX	200 L	400€	400€
<i>(estimativa)</i>	Fonte de Alimentação	1	120€	120€
<i>(estimativa)</i>	Bomba	1	200€	200€
<b>Total</b>				<b>15.853€</b>



## **FORNECEDORES**

Listagem de todos os fornecedores consultados para execução de propostas para elaboração do orçamento:

### **Construção mecânica:**

Símia  
Vaporel  
Metalúrgica Palmelense  
MetalSintra  
Maquigomes  
Joca Metalomecânica  
Coopban  
Metaforos  
Américo Conceição Godinho  
MacMecânica  
Monfabril  
Metalúrgica Galamares

### **Instrumentação:**

National Instruments  
Itise  
F-Louro  
Tecnisis  
Ffonseca  
Nova Zeta 3  
LA2P  
Satife  
Mano-terme  
António Moutinho  
Megacontrol  
Contrimetra  
Siepi

### **Óleo:**

Fuch  
Shell  
Paulo C Barbosa  
Henrique Fabião  
Agip  
Lubrifontes  
TVS

### **Válvulas, reguladores e acessórios:**

Etopi  
Neumax  
HS Peres Guimarães  
Pressar  
Acessomatic  
Danfoss  
FS Mota  
Resitec  
Fluidocontrol  
Efaflu  
Iberautic  
F Ribeiro  
BNT Bombas  
Mota T  
Tecnoar  
Falex  
Air Control  
Silgar







Contribuinte Nr.: 500 144 800

Telefone: 21 940 53 60

Fax Dir. Téc.: 21 941 59 64 | Fax Dir. Adm.: 21 942 4804

URL: [www.joca.pa-net.pt](http://www.joca.pa-net.pt) e-mail: [joca.lda@joca.pt](mailto:joca.lda@joca.pt)

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE

V/ Consulta: E mail de 13/12/2007

A/C: Dra Elsa Baptista

N/ Orçamento Nr.: 08/0059 A

N/ Referência: CG / AA

Cód. Postal: MONTE DA CAPARICA

Validade da Proposta: 30 dias

Fax: 212 948 188

Transporte: N/ conta

I.V.A.: Não incluído

Data: 27-02-2008

Condições de Pagamento: A estabelecer

NOTA: As condições indicadas ficam condicionadas à existência e cotação dos materiais que vigorem no mercado, assim como ao volume de trabalhos em carteira, à data de confirmação da v/ encomenda.

Item	Qt.	Designação
001	1,000	<p>CONSTRUÇÃO MECÂNICA E MONTAGEM DE COMPONENTES PARA UM GASÓMETRO, conf. Desenhos e constando de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 Campânula em chapa de aço inox AISI 304, conf. Des. Nº 1</li> <li>- 3 Bases de apoio, em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 2</li> <li>- 1 Base central de suspensão em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 3</li> <li>- 3 Rodas superiores em PTFE, conf. Des. Nº. 4</li> <li>- 6 Suportes laterais em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 5</li> <li>- 3 Suportes centrais superiores em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 6</li> <li>- 3 Eixos em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 12</li> <li>- 3 Suportes inferiores em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 7</li> <li>- 3 Roletes inferiores em PTFE, conf. Des. Nº. 10</li> <li>- 3 Eixos em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 12</li> <li>- 1 Contra peso em Alumínio, conf. Des. Nº. 12</li> <li>- 1 Depósito contra impulsão em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 13</li> <li>- 1 Cinta em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 11</li> <li>- 1 Suporte Enconder em aço inox AISI 304, conf. Des. Nº. 14</li> <li>- 1 Extensão da Flange, em aço inox AISI 304 e Ck 45, Rev.a Crómio Duro, conf. Des. Nº. 15 e croqui JOCA</li> <li>- 2 Veios c/ chavetas p/ as Roldannas em aço inox AISI 304 conf. desenho</li> <li>- Abertura de escatéis em duas Roldanas</li> <li>- Montagem do conjunto nas v/ instalações</li> </ul>

P. Unitário: 11.820,00 € Sub-Total: 11.820,00 € Prazo de Entrega: A estabelecer

## NOTAS :

## Des. Nº. 1

- A Campânula é executada em chapa de aço inox AISI 304, pelo que o acabamento é aquele que vem de fábrica, sendo fornecida calandrada e soldada, com afagamento e polimento desta zona.

Por ser calandrada e soldada, não garantimos a sua concêntrica, assim como a sua geometria, por isso os Roletes das Guias inferiores ( Des. Nº. 17 ) poderão ter que ser alterados para um sistema com ajuste, a combinar com V/ Exas. podendo por isso haver algum ajuste ao orçamento.

## Des. Nº. 13

- O Depósito do contra peso será prolongado até ao chão, com fixação a definir com V/ Exas.

**JOCA****METALOMECÂNICA, LDA.**

d e s d e

l p 5 0

N/ Orçamento Nr.: 08/0059 A

---

Item	Qt.	Designação
------	-----	------------

---

Des. Nº. 18

- A Base do Gasómetro existente, só será cotada após observação da mesma nas nossas instalações e na presença de um elemento do IPQ.

Des. Nº. 15

- As Hastes da Flange estendida, são fornecidas em aço Din Ck 45, Cromadas a Duro e polidas, sendo aplicadas em Suportes conf. croqui JOCA a ser aprovado por V/ Exas.

- O Compensador de Impulsão, será cotado após a recepção do v/ desenho, sendo que a sua execução só será possível se o rasgo for no mesmo plano ( E não com torsão como está no croqui )

- As Roldanas com Suportes, o Triângulo superior e a Base do Gasómetro, as ligações de tubagem, os acessórios de ligação e controlo, as Válvulas e ramais para ligação de sondas, serão de vosso fornecimento

Total do Orçamento:

11.820,00 €

2.369.697,00 Esc.



**ANTÓNIO MOUTINHO, Lda.**  
instrumentos de precisão

Original

DATA	DOCUMENTO	NUMERO
2008-01-02	Orçamento	514/IPL

**PORTO**

Rua Duque da Terceira, 268 - 4000-534 Porto  
Tel. +351.225.193.120 Fax +351.225.193.129

**LISBOA**

Rua Conde Redondo, 82 6º - 1150-109 Lisboa  
Tel. +351.213.142.252 Fax +351.213.142.253

info@antoniomoutinho.pt  
www.antoniomoutinho.pt

LABORATORIO DE VOLUMES- LAB.C.METRO.IPQ

RUA ANTONIO GIÃO, 2

2829-513 CAPARICA

Telef.:

Fax:

CLIENTE Nº	Nº CONTRIBUINTE	V/REQUISIÇÃO
20000		

De harmonia com a v/prezada consulta, que agradecemos, apresentamos abaixo o n/orçamento para o material solicitado:

CÓDIGO	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	PREÇO UNITÁRIO	%DESC.	VALOR	Prazo Entrega	IVA
199000000	1,00	SONDA PT100(TR212) COM CABEÇA MINI-DIN ALUMINIO	55,54		55,54	1 dia Util	21
101050010	1,00	COMP.50X3MM ROSCA FIXA 1/2"G TRANSMISSOR T19.10.1PO1 PT100 SMALL CONF 365671 <a href="http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/Te/DS_te1901_GB.pdf">http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/Te/DS_te1901_GB.pdf</a> Construído segundo norma de homologação DIN IEC 751 Modelo de uso em cabeça Caixa em plástico termo resistivo IP50 Alimentação 10 a 30 VDC Saída de sinal analógico linear de 4 a 20 mA Entrada possíveis PT100 Compatibilidade EMC EN 50082-2 Escala de temperatura ___ a ___°C Configuração de escalas por pingos de solda	39,68		39,68	1 dia Util	21
101050041	1,00	SUORTE CALHA DIN P/TRANSM TEMP	14,00		14,00	1 dia Util	21
101030011	1,00	SENSOR PRE S-10 0,25B 4/20 R1/2 9021329 <a href="http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/pe/DS_pe8101_GB.pdf">http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/pe/DS_pe8101_GB.pdf</a> construção em AISI316L Membrana interna 3mm Ligação processo 1/2' BSPM Alimentação 10 a 30 VDC Sinal de saída 4 a 20 mA Loop 2 fios Escala 0 a 0,25bar Desvio máximo 0.5% FDS Caixa ligações por conector angular DIN43650 Índice de protecção IP65 Temperatura máxima do meio em pressão, 100°C Ajuste por potenciômetro de Zero e Span	246,72		246,72	1 dia Util	21
		A Transportar			355,94		

PROCESSADO POR COMPUTADOR

EXPEDIDO POR	COND. PAGAMENTO

SUBTOTAL	DESCONTO P.P.	%	PORTES, SEGUROS, ETC	VALOR LÍQUIDO
	0,00			

LOCAL DE CARGA: N/ARMAZÉM
LOCAL DE DESCARGA: DESTINATÁRIO

Vendedor	Validade	IVA	VALOR TOTAL
ANIBAL FERREIRA	30 dias		

Operador: ANIBAL  
Data: 2.1.2008

**IVA: Não confere direito a dedução**

**OFTALMOLOGIA**

RUA DUQUE DA TERCEIRA, 268 4000-534 PORTO  
TEL.:22 518 98 03 - FAX 22 536 04 27  
RUA CONDE REDONDO, 82 - 6º - 1150-109 LISBOA  
TEL.:21 352 83 30 - FAX 21 352 83 37

**ÓPTICA, CONTACTOLOGIA e PRÓTESES OCULARES**

RUA 31 DE JANEIRO, 52 - TEL.:22 339 29 10 - FAX : 22 339 29 19 - 4000-542 PORTO  
PRAÇA MOUZINHO ALBUQUERQUE, 171 - TEL.:22 607 61 90 - FAX : 22 607 61 99 - 4100-360 PORTO  
AV.RODRIGUES DE FREITAS, 109 - TEL.:22 537 42 90 - FAX : 22 510 28 25 - 4000-420 PORTO  
RUA CONDE REDONDO, 82 - 6º TEL.: 21 352 83 30 - FAX 21 352 83 37 - 1150-109 LISBOA

**ESCRITÓRIO**

RUA CONDE FERREIRA, 137 - 1º - 4000-223 PORTO  
TELEFONE.:22 589 98 80  
FAX 22 589 98 89



**ANTÓNIO MOUTINHO, Lda.**  
instrumentos de precisão

Original

DATA	DOCUMENTO	NUMERO
2008-01-02	Orçamento	514/IPL

**PORTO**

Rua Duque da Terceira, 268 - 4000-534 Porto  
Tel. +351.225.193.120 Fax +351.225.193.129

**LISBOA**

Rua Conde Redondo, 82 6º - 1150-109 Lisboa  
Tel. +351.213.142.252 Fax +351.213.142.253

info@antoniomoutinho.pt  
www.antoniomoutinho.pt

LABORATORIO DE VOLUMES- LAB.C.METRO.IPQ

RUA ANTONIO GIÃO, 2

2829-513 CAPARICA

Telef.:

Fax:

CLIENTE Nº	Nº CONTRIBUINTE	V/REQUISIÇÃO
20000		

De harmonia com a v/prezada consulta, que agradecemos, apresentamos abaixo o n/orçamento para o material solicitado:

CÓDIGO	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	PREÇO UNITÁRIO	%DESC.	VALOR	Prazo Entrega	IVA
101030012	1,00	Transporte			355,94		
		SENSOR PRE S-10 0,4B 4/20 R1/2	246,72		246,72	1 dia Util	21
		<a href="http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/pe/DS_pe8101_GB.pdf">http://www.wika.de/pdf/datenblaetter/pe/DS_pe8101_GB.pdf</a>					
		construção em AISI316L					
		Membrana interna 3mm					
		Ligação processo 1/2' BSPM					
		Alimentação 10 a 30 VDC					
		Sinal de saída 4 a 20 mA					
		Loop de 2 fios					
		Escala 0 a 0,4bar					
		Desvio máximo 0.5% FDS					
		Caixa ligações por conector angular DIN43650					
		Índice de protecção IP65					
		Temperatura máxima do meio em pressão, 100°C					
		Ajuste por potenciômetro de Zero e Span					
199000000	1,00	SUPLEMENTO PARA PRECISÃO 0,25%	61,60		61,60	1 dia Util	21
199000000	1,00	ENCODER INCREMENTAL IVO GI356.170C315	159,12		159,12	1 dia Util	21
199000000	1,00	CABLE-PULL DIVES IVO Z136.202	423,20		423,20	1 dia Util	21
199000000	1,00	CONTADOR DIGITAL IVO NE214.022AX01 SAIDA 4...20mA	363,40		363,40	1 dia Util	21

PROCESSADO POR COMPUTADOR

EXPEDIDO POR	COND. PAGAMENTO
BALCÃO	<b>A 30 DIAS</b>

SUBTOTAL	DESCONTO P.P.	%	PORTES, SEGUROS, ETC	VALOR LÍQUIDO
1 609,98	0,00			1 609,98

LOCAL DE CARGA: N/ARMAZÉM
LOCAL DE DESCARGA: DESTINATÁRIO

Vendedor	Validade
ANIBAL FERREIRA	30 dias

IVA	VALOR TOTAL
338,10	1 948,08

Operador: ANIBAL  
Data: 2.1.2008

**IVA: Não confere direito a dedução**

**OFTALMOLOGIA**

RUA DUQUE DA TERCEIRA, 268 4000-534 PORTO  
TEL.: 22 518 98 03 - FAX 22 536 04 27  
RUA CONDE REDONDO, 82 - 6º - 1150-109 LISBOA  
TEL.: 21 352 83 30 - FAX 21 352 83 37

**ÓPTICA, CONTACTOLOGIA e PRÓTESES OCULARES**

RUA 31 DE JANEIRO, 52 - TEL.: 22 339 29 10 - FAX : 22 339 29 19 - 4000-542 PORTO  
PRAÇA MOUTINHO ALBUQUERQUE, 171 - TEL.: 22 607 61 90 - FAX : 22 607 61 99 - 4100-360 PORTO  
AV. RODRIGUES DE FREITAS, 109 - TEL.: 22 537 42 90 - FAX : 22 510 28 25 - 4000-420 PORTO  
RUA CONDE REDONDO, 82 - 6º TEL.: 21 352 83 30 - FAX 21 352 83 37 - 1150-109 LISBOA

**ESCRITÓRIO**

RUA CONDE FERREIRA, 137 - 1º - 4000-223 PORTO  
TELEFONE.: 22 589 98 80  
FAX 22 589 98 89

**fnand**

---

**From:** la2p [la2p@la2p.pt]  
**Sent:** quarta-feira, 26 de Dezembro de 2007 10:01  
**To:** fnand@sapo.pt  
**Subject:** RE: Pedido de Proposta

Bom dia,  
Não existe diferença de preço entre o D5.2102.2441.1000 e o D5.2102.2421.1000.  
E as nossas desculpas pela confusão em relação ao ponto 5.  
A utilização do 571.012... + D5.2102... está correcta.

Cumprimentos  
Carlos Felga  
La2p,Lda

---

**De:** fnand [mailto:fnand@sapo.pt]  
**Enviada:** domingo, 23 de Dezembro de 2007 0:27  
**Para:** 'la2p'  
**Assunto:** RE: Pedido de Proposta

Gostaria que me esclarecesse os seguintes pontos:  
Existe diferença de preço entre o encoder

D5.2102.2441.1000 e o D5.2102.2421.1000 ?

No seu ponto 5 refere que caso seja indicador Codix 571 com saída analógica o encoder terá de ter saída analógica? Mas a especificação do 571 tem entrada de impulsos (que é o que se pretende)?

As referencias pretendidas são de facto as

0.571.012.E90 para o indicador e D5.2102.2441.1000 para o encoder que julgo serem compatíveis.

Obrigado.

Fernando Esteves

[fnand@sapo.pt](mailto:fnand@sapo.pt)

931 712 230

---

**From:** la2p [mailto:la2p@la2p.pt]  
**Sent:** sexta-feira, 21 de Dezembro de 2007 18:37  
**To:** fnand@sapo.pt  
**Subject:** RE: Pedido de Proposta

Boa tarde,

Relativamente ao ponto 1) e 2) do v/pedido, podemos fornecer o sensor de temperatura modelo 8400, código (444696) que tem um preço de 625,0€ + iva e um prazo de entrega de cerca de 3 semanas. Documentação em <http://www.burkert.es/>

No ponto 3) Podem aplicar o modelo 8323, código (417694 e 417695), 250mBar e 400mBar respectivamente. Preço unitário 361,0€ cada, + iva, prazo de entrega, cerca de 3 semanas.

Ponto 4) Encoder com bobina de 2m de fio, tipo 2102, referência D5.2102.2421.100, preço unitário de 495,0€ + iva, prazo de entrega de cerca de 5 semanas. Documentação em :  
<http://www.kuebler-gmbh.de/>

5) Indicador com saída analógica? Ou indicador com entrada analógica (nesse caso o encoder tem que ter a saída analógica)?

20-01-2008

Se for : indicador de posição para encoder que propomos em 4), então será por exemplo o modelo 521, código 6.521.012.300. Preço de 96,0€ + iva, prazo de entrega de cerca de 4 semanas.

Se for: indicador programável com saída analógica, pode ser por exemplo o modelo 571, código 0.571.012.E90. Preço de 350,0€ + iva e prazo de entrega de cerca de 4 semanas (~~neste caso o encoder já terá que ser outro, com saída analógica~~)

Nota: Para ver as nossas válvulas motorizadas, consultar válvulas de bola em:

[http://www.burkert.es/ESN/buerkert\\_products.php?sk\\_id=9](http://www.burkert.es/ESN/buerkert_products.php?sk_id=9)

Não dispomos dos outros acessórios que mencionam.

Mas, a título informativo, também dispomos de caudalímetros massivos para gases, com ou sem electroválvula proporcional para controlo de caudal incorporado. Em anexo segue o data sheet por exemplo do 8701 e 8711.

Esse equipamento pode substituir o regulador de fluxo.

Com os melhores cumprimentos

Carlos Felga

---

**De:** fnand [mailto:fnand@sapo.pt]

**Enviada:** segunda-feira, 17 de Dezembro de 2007 22:52

**Para:** fnand@sapo.pt

**Assunto:** Pedido de Proposta

Boa Dia,

Pretende-se o fornecimento de sondas para utilização em Padrão Primário para calibração de Volumes de Gás (Ar). O fornecimento será ao laboratório de volumes do Laboratório Central de Metrologia do I.P.Q.

Agradecia vosso orçamento dentro da maior brevidade possível.

Este orçamento deverá ser enviado por email para [fnand@sapo.pt](mailto:fnand@sapo.pt), se possível, senão para o fax 21 294 81 88.

Deve ser enviado ao cuidado da Dr<sup>a</sup> Elsa Batista, do LCM, IPQ no Monte da Caparica.

Qualquer dúvida ou esclarecimento deverá ser contactado Fernando Esteves, para o email acima ou telemóvel 931 712 230.

Em caso do envio de proposta agradecia o envio de documentação seja por via de email ou link onde possibilite o descarregamento dos mesmos. Ou o envio ao cuidado:

Dr<sup>a</sup> Elsa Batista

Lab. Volumes

Lab. Central de Metrologia

I.P.Q.

Rua António Gião, 2

2829-513 CAPARICA

Para o seguinte material:

1) Sonda PT100 (preferencia d3x50mm) com conexão G1/2" ou G1/4" cabeça de terminal tipo DIN ou em ABS (ex: Wika TR221)

2) Transmissor Pt100 (0...4 a 20mA, Alim. 24VDC) de preferencia ajustável e digital (não é obrigatório no cabeçote da sonda)

3) Transmissor de pressão relativa 0 a 250mBar e 0 a 400mBar (0...4 a 20mA, Alim. 24VDC, 0,5 e/ou 0,25%) de preferencia ajustável e digital (ex: Wika P-10 ou S-10)

4) Posicionador por Encoder com cabo com saída por pulsos (resolução inferior a 0,5mm; gama de medição 0 a 1,5m ou 0 a 2m); (ex: Kübler mini draw wire encoder)

5) Indicador para posicionador (com opção de saída analógica 0...4 a 20 mA, de preferencia programável) indicação programável em 0,1 mm (ex: Kübler Codix display)

Gostaria ainda de saber se detém na vossa gama o seguinte material.

Adaptadores em inox G1/2"m / G1/4"f (ISO228), ISO228 para NPT, etc.

Reguladores de fluxo, reguladores de pressão (gamas até 200mBar, caudais até 150l/min)

Bomba de Ar (300mBar/150l/min.)

Válvulas 3/4" (1/4 de volta, multivolta, 3 vias, electroválvulas, inox, aço, etc.)

Cablagem helicoidal para ligações

Obrigado.

Fernando Esteves

931 712 230

[fnand@sapo.pt](mailto:fnand@sapo.pt)

FCT/UNL  
Fernando Esteves  
Quinta da Torre  
2829-516 Monte Da Caparica

Data: 2007.10.08

Tel 931 712 230  
Fax

Contacto: 2772570

## Cotação N° 823229 - 1

Em resposta a vossa consulta, junto enviamos os preços dos nossos produtos.

Item	Qtd	Referência	Descrição	Preço unitário	Desconto	Preço
1	1	779675-01	NI USB-6210 Bus-Powered M Series Multifunction DAQ Device, NI-DAQmx driver software and Signal Express LE País de Origem : United States	459,00	10%	413,10
2	1	779676-01	NI USB-6211 Bus-Powered M Series Multifunction DAQ Device, NI-DAQmx driver software and Signal Express LE País de Origem : United States	649,00	10%	584,10
4	1	776670-09	LabVIEW Full System for Windows with 1 Yr Service (English) Stand. Serv provides free, automatic upgrades for your software & access to NI App. Engr's. via phone/email for technical support. País de Origem : Ireland	2.399,00	25%	1.799,25
Subtotal						2.796,45
Despesas de transporte						33,33
I.V.A. (21%)						594,25
Total						3.424,03
Cotação em euros						

Termos de pagamento      30 Dias  
Validade                      2007.11.07  
Data estimada de entrega:    3 semanas (a titulo informativo)  
Termos de transporte:        O custo de entrega é calculado para cada item

Esta cotação está efectuada de acordo com os Termos e Condições de Venda anexos.

Pagamentos via transferência bancária sob o  
Banco Millennium BCP, conta nº 0020/08/8444966, NIB 0033 0000 02088444966 64

Em caso de dúvida sobre esta cotação contacte-nos por favor através de email para portugal.sales@ni.com ou por telefone para o número 210 311 210.



National Instruments Portugal,  
Taguspark - Parque de Ciencia e Tecnologia  
Nucleo Central, 483  
2740-122 Oeiras  
Portugal  
Tel. +351 210 311 210 · Fax +351 210 311 220  
[portugal.sales@ni.com](mailto:portugal.sales@ni.com) · [ni.com/portugal](http://ni.com/portugal)

Com os melhores cumprimentos  
National Instruments Portugal

SANTOS, Mr. Magno



fnand

**From:** DAC [Comercial@fuchs.pt]  
**Sent:** terça-feira, 15 de Janeiro de 2008 15:18  
**To:** fnand@sapo.pt  
**Cc:** Carlos Manuel Braga  
**Subject:** I.P.Q.-Laboratório Central de Metrologia\_N/ Proposta Nº 1901-07  
**Attachments:** RENOLIN MR.pdf; GERALYN SF SERIES.pdf

Exma. Sr<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elsa Batista,

No seguimento do v/ pedido de cotação, que desde já agradecemos, passamos a informar os n/ melhores preços para eventual fornecimento dos produtos abaixo mencionados.

Mais informamos, que o GERALYN SF 15 é um produto aprovado para contacto alimentar, mas com densidade de 0,82 (por isso inferior a pretendido).

PRODUTOS FUCHS	EMBALAGEM	PREÇOS LÍQUIDOS €/ L
▪ GERALYN SF 15	200 L*	11,96
▪ RENOLIN MR 3	205 L	2,25

\*\*\*O(s) preço(s) em epígrafe não inclui(em) IVA,ISP nem ECO-LUB.\*\*\*

- Prazos de Entrega:** Até 5 dias após recepção da v/ encomenda, salvo venda.  
\*Até 3 – 4 semanas após recepção da v/ encomenda, produto de importação.
- Condições de Pagamento:** A combinar.
- Validade da Proposta:** 31.01.08

Melhores cumprimentos.

FUCHS LUBRIFICANTES, Unip. Lda.

Carlos Manuel Braga  
Gestor de Produto

Anexos: Fichas Técnicas. Produto GERALYN SF 15 ficha disponível em Inglês.

FUCHS LUBRIFICANTES, Unip. Lda.  
Zona Industrial Maia 1, Sector VII, Rua E  
4470-435 Moreira - MAIA (Portugal)  
Tel.: (00351) 229 479 360 \* Fax (00351) 229 487 735 \* e-mail: [fuchs@fuchs.pt](mailto:fuchs@fuchs.pt) \* [www.fuchs.pt](http://www.fuchs.pt)

Este e-mail contém informação confidencial e/ou protegida pela FUCHS PETROLUB AG e/ou das suas empresas do Grupo. Caso não seja o destinatário ao qual esta mensagem se destina (ou se recebeu a mesma por engano), solicitamos que o comunique de imediato ao remetente e a elimine, assim como quaisquer documentos anexos. A divulgação deste e-mail a terceiros ou cópias não autorizadas é estritamente proibida e pode ser punida por lei.

This e-mail may contain confidential and/or privileged information of FUCHS PETROLUB AG and/or its affiliates. If you are not the intended recipient (or have received this e-mail in error) we kindly ask you to notify the sender immediately and to delete this e-mail and any attachment from your system. Any unauthorized copying, disclosure or distribution of the material in this e-mail is strictly forbidden and may cause liability.

**De:** fnand [mailto:fnand@sapo.pt]  
**Enviada:** segunda-feira, 14 de Janeiro de 2008 15:46  
**Para:** fnand@sapo.pt  
**Assunto:** pedido-proposta

Bom Dia,

O fornecimento será ao laboratório de volumes do Laboratório Central de Metrologia do I.P.Q.  
Agradecia vosso orçamento dentro da maior brevidade possível.

Segue descrição de óleo com objectivo de utilização como selante em gasómetro.

As condições de utilização são as de temperatura, humidade e pressão atmosférica em ambiente fechado e estabilizado.  
20 a 30°C  
máx. 85% H.r.  
dif. máx. 200mBar  
As propriedades requeridas deverão ser para estas condições de trabalho

20-01-2008

#200 litros de óleo mineral

poder-se-á considerar a sua utilização como pneumática ou hidráulica

viscosidade baixa tanto quanto possível (3 a 30 cSt)

densidade superior a 0,86 Kg/dm<sup>3</sup>

pressão de vapor baixa ou ponto de ignição e/ou ponto de ebulição elevado (para evitar a imiscibilidade com o ar o mais reduzida possível)

não corrosivo

rigidez eléctrica elevada (isolante electricamente)

possibilidade de contacto humano frequente, ou seja sem presença de aditivos ou aromatizantes nocivos para a saúde.

O fornecimento será ao laboratório de volumes do Laboratório Central de Metrologia do I.P.Q.

Agradecia vosso orçamento dentro da maior brevidade possível.

Este orçamento deverá ser enviado por email para [fnand@sapo.pt](mailto:fnand@sapo.pt), se possível, senão para o fax 21 294 81 88.

Deve ser enviado ao cuidado da Dr<sup>a</sup> Elsa Batista, do LCM, IPQ no Monte da Caparica.

Qualquer dúvida ou esclarecimento deverá ser contactado Fernando Esteves, para o email acima ou telemóvel 931 712 230.

Em caso do envio de proposta agradecia o envio de documentação seja por via de email ou link onde possibilite o descarregamento dos mesmos. Ou o envio ao cuidado:

Dr<sup>a</sup> Elsa Batista

Lab. Volumes

Lab. Central de Metrologia

I.P.Q.

Rua António Gião, 2

2829-513 CAPARICA

aguardando vossa melhor resposta.

Obrigado.

Fernando Esteves

[fnand@sapo.pt](mailto:fnand@sapo.pt)

931 712 230

# MegaControl - INSTRUMENTAÇÃO, EQUIPAMENTOS E SISTEMAS INDUSTRIAIS, LDA.

OURESSA PARQUE, EDIF. 12

AV. ALMIRANTE GAGO COUTINHO

2725-685 MEM MARTINS

TEL. :21 9245230

FAX :21 9245239

e-mail : [megacontrol@megacontrol.pt](mailto:megacontrol@megacontrol.pt)

[www.megacontrol.pt](http://www.megacontrol.pt)

CONT. NR ( VAT PT ) 503291854

C.R.C. CASCAIS SOB O Nº 17200/SINTRA

CAPITAL SOCIAL € 9.975,96

## Proposta

Nº **800030**

Para :

MINISTÉRIO DA ECONOMIA - INST.PORTUGUÊS DA QUALIDADE

Data : 04.01.2008

De : Bruno Parreira

N/ Ref. :

V/Ref. :

A/C.: Drª Elsa Batista

V/Consulta : EMAIL

V/ Tel.: 212 948 100

V/ Fax : 212 948 101

V/ e-mail :

Na sequência da vossa amável consulta, que agradecemos, vimos pelo presente elaborar a nossa melhor oferta comercial para o eventual fornecimento do seguinte equipamento:

	Referência	Designação	Quant	Un.	Pr.Unitário	Entrega
1	TR30-W	WIKA* PT100 COM TRANSMISSOR L=50mm	1,00	UN	470,00	4 SEMANAS
		INCLUI:				
1A		UNIDADE DE PROGRAMAÇÃO + SOFTWARE	1,00	UN		
2	S10/0-0.4	WIKA*TRANSMISSOR PRESSÃO 0..0,4BAR 0,25% 1/2"G	1,00	UN	308,32	4 SEMANAS
3	S10/0-0.25	WIKA*TRANSMISSOR PRESSÃO 0..0,25BAR 0,25% 1/2"G	1,00	UN	308,32	4 SEMANAS

Documento Processado por Computador

Página 1,

Validade da n/ oferta : 90 DIAS

**TOTAL EURO ( € )**

**1.086,64**

Local de entrega :

( IVA não incluído )

Condições Pagamento : A 30 dias do fim do mês

**Nota: Os valores acima mencionados consideram-se válidos para a totalidade da proposta, salvo acordo em contrário.**

Na expectativa que esta oferta possa merecer a vossa aprovação, subscrevemo-nos com os nossos melhores cumprimentos.

MegaControl



Equipamentos e Serviços, Lda

N de pag : 1/1

A/C: Drª Elsa Batista

De: Fernando Alexandre

Para: I.P.Q.

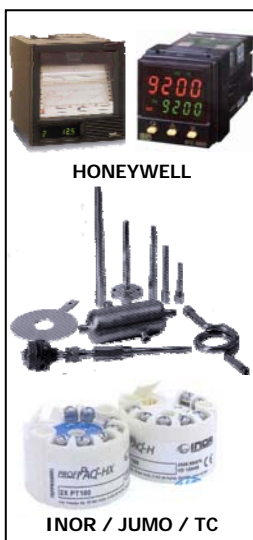
Tel: (351) 21 446 02 90

E-mail: fnand@sapo.pt

Fax: (351) 21 446 02 99

Ref.: 0120/01/08 de 2008-01-15

E-mail: [falex@falex.pt](mailto:falex@falex.pt)

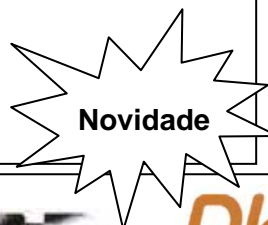


**ASSUNTO:** V/ CONSULTA

Em seguimento à Vossa consulta em epígrafe, que muito agradecemos, somos a propor o material abaixo indicado, sujeito às seguintes condições:

- PRAZO ENTREGA: 30 A 45 DIAS
- GARANTIA: 1 ANO
- VALIDADE: 60 DIAS
- CONDIÇÕES DE PAGAMENTO: 30 DIAS
- DESPESAS ENVIO / EMBALAGEM: 8,00 €

Com os nossos melhores cumprimentos,  
Fernando Alexandre



**1 ENCOMENDA**

**50.000€**

**2500 PECAS**

**Dk-Lok®**  
Tube Fittings



Descrição do Material	
<p><b>Qtd: 1</b></p> <p><b>102II4-H</b></p> <p>Regulador de pressão <b>FAIRCHILD</b> com as seguintes particularidades:</p> <p><b>Gama</b> : 0-150mBar</p> <p><b>Ligação</b> : ½"G</p> <p><b>Caudal max.</b> : 150Lpm ar quando alimentado a 4Bar</p>	<p><b>PREÇO UNIT. S/ IVA</b></p> <p><b>140,00 €</b></p>
<p><b>Qtd: 1</b></p> <p>Manómetro para instalar no regulador anterior com diâmetro de 63mm e gama 0-250mBar.</p>	<p><b>40,00 €</b></p>
<p><b>Qtd: 1</b></p> <p><b>GHR-8-4G</b></p> <p>Adaptadores em aço inox de ½G-M x ¼G-F.</p>	<p><b>5,30 €</b></p>
<p><b>Qtd: 1</b></p> <p><b>GP-8G</b></p> <p>Tampões em aço inox de ½G-M.</p>	<p><b>5,20 €</b></p>
<p><b>Qtd: 1</b></p> <p><b>GP-4G</b></p> <p>Tampões em aço inox de ¼G-M.</p>	<p><b>2,50 €</b></p>
As restantes posições não estamos em condições de cotar.	





## **ESPECIFICAÇÕES DE EQUIPAMENTOS**

Encontra-se nesta secção os equipamentos seleccionados dos quais foram obtidos orçamentos aos pedidos de propostas.





## **Resistance Thermometer - Model TR30-W, Compact design with programmable analog output 4 ...20 mA**

### **Applications**

- Machinery, plant and tank construction
- Power transmission engineering, hydraulics
- General applications

### **Special Features**

- Application ranges from -50 °C to +250 °C  
Accuracy-class to DIN EN 60751
- Transmitter included (programmable and adjustable via software)
- L-Plug or connector M12
- Fixed process connection and thermowell (stainless steel 1.4571)
- Intrinsically safe design (in preparation)
- shipping approval DNV (in preparation)

### **Description**

This series of resistance thermometers is designed for the measurement of liquid or gaseous media. They are suitable for a max. pressure of max. 400 bar (depending on insertion length and diameter).

All electrical parts are protected against splash water and are mounted vibration-proof.

Insertion length, process connection and sensor can be selected for the respective application from the order information text.

This model is complete with a thermowell (welded construction) and a fixed process connection.

The resistance thermometer is screwed directly into the process and standard DIN L-Plug or concentric plug-and-socket M12 x 1 is used for electrical connection.

The TR30 W contains an integrated transmitter with output signal 4 ... 20 mA. This guarantees an easy and reliable transmission of the temperature values.



## Sensor

The sensor is located in the tip of the measuring insert.

The measuring insert is not exchangeable.

## Measuring insert

Application range -50...250°C

## Process connection

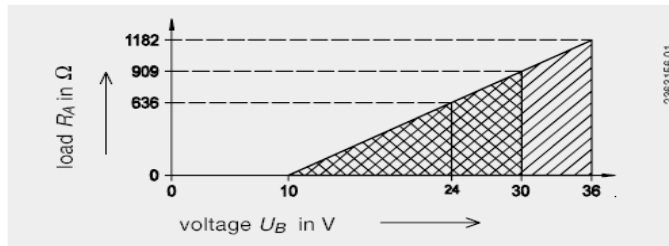
Thermowell Ø in mm	Male thread			
	G 1/4 B	G 3/8 B	G 1/2 B	1/2 NPT
3	x	-	-	-
6	x	x	x	x
6, tapered to 3 mm	x	x	x	x
8	-	x	x	x
8, tapered to 6 to 3 mm	-	x	x	x

## Thermowell

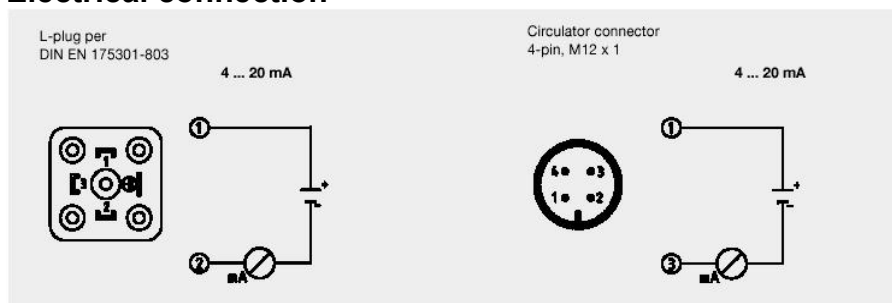
Thermowell Ø in mm	Insertion length $U_1$ in mm								
	25	50	75	100	160	200	300	400	500
3	x	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	x	x	x	x	x	x	x	x
6, tapered to 3 mm	-	x	x	x	-	-	-	-	-
8	-	-	x	x	x	x	x	x	x
8, tapered to 6 to 3 mm	-	-	-	x	x	x	x	x	x

## Load diagram

The permissible load is dependent upon the loop power supply voltage



## Electrical connection



### Specification TR30-W

Measuring range maximum	With necktube -50°C ... +250°C, without necktube -50°C...+150°C
Measuring span minimal	20 K
Basic configuration	3-conductor 0 ... 150 °C
<b>Analog output</b>	4 ... 20 mA 2-wire-design
Measuring deviation	< ± 0,046 % span
Switch-on delay, electric	< 10 ms
Signaling sensor burnout	adjustable: NAMUR downscale < 3,6 mA (typical 3 mA) NAMUR up scale > 21,0 mA (typical 23 mA)
Signaling sensor short circuiting	Not configurable, in general NAMUR downscale < 3,6 mA (typical 3 mA)
Load $R_A$	$R_A \delta (U_B - 10 \text{ V}) / 0,022 \text{ A}$ with $R_{A \text{ in } \wedge \alpha v \delta U_B \text{ in V}}$
Influence of the load	± 0,05 % / 100 $\wedge$
Influence of the power supply	± 0,025 % / V
<b>Auxiliary energy</b>	
Powered by 4 ... 20 mA-loop	DC 10 . 36 V
Input power supply protection	Reverse polarity
max. permissible ripple	10 % with 24 V / maximum load 300 $\Omega$
<b>Electromagnetic compatibility (EMC)</b>	per EMC Directive 89/336/EEG DIN EN 61 326:2002
<b>Operating conditions</b>	
Ambient- and storage temperature	Standard range: -40 . +85 °C
<b>Special features</b>	
Temperature units:	Configurable: °C, °F, K
Info data	TAG-No., Descriptor and Message via configuration storeable into transmitter
Configuration and calibration data	Permanently stored in EEPROM
Ingress protection case	IP65 EN 60 529 / IEC 529
Weight	0,2 to 0,7 kg (subject to design)
Dimensions	See drawings

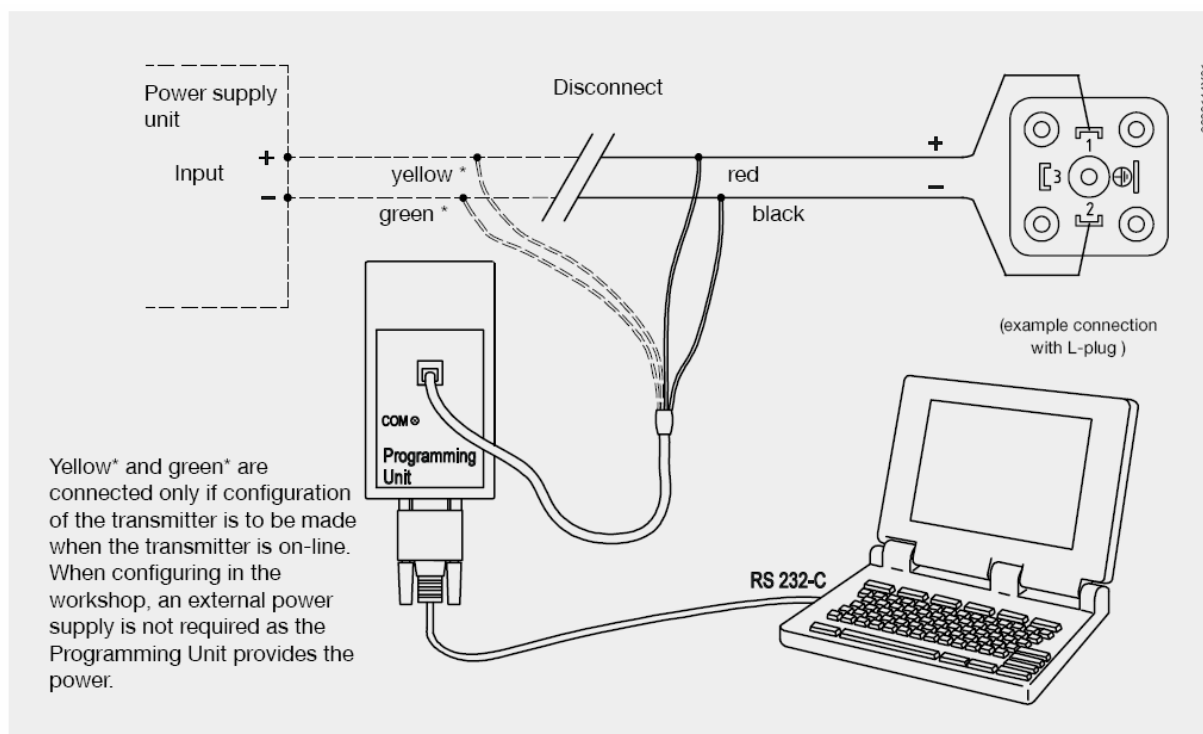
Specifications in % refers to the measuring span

1) For measuring span lower than 50 K, additional 0,1 K, for measuring span higher than 550 K, additional 0,1 %

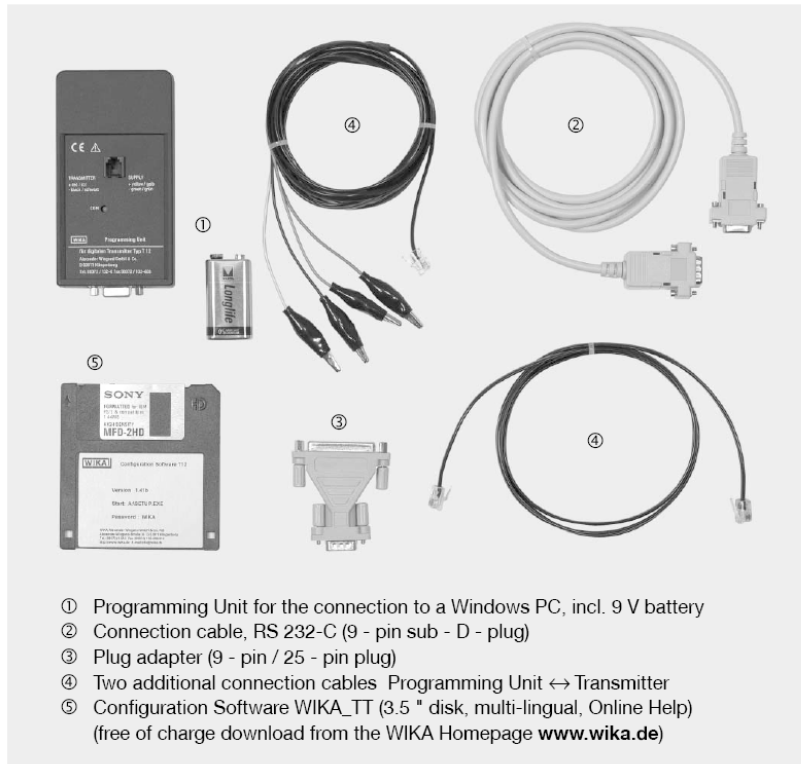
2) ± 0.2 % with measuring ranges with initial value lower than 0 °C or measuring span higher than 800 K

3) whichever is greater

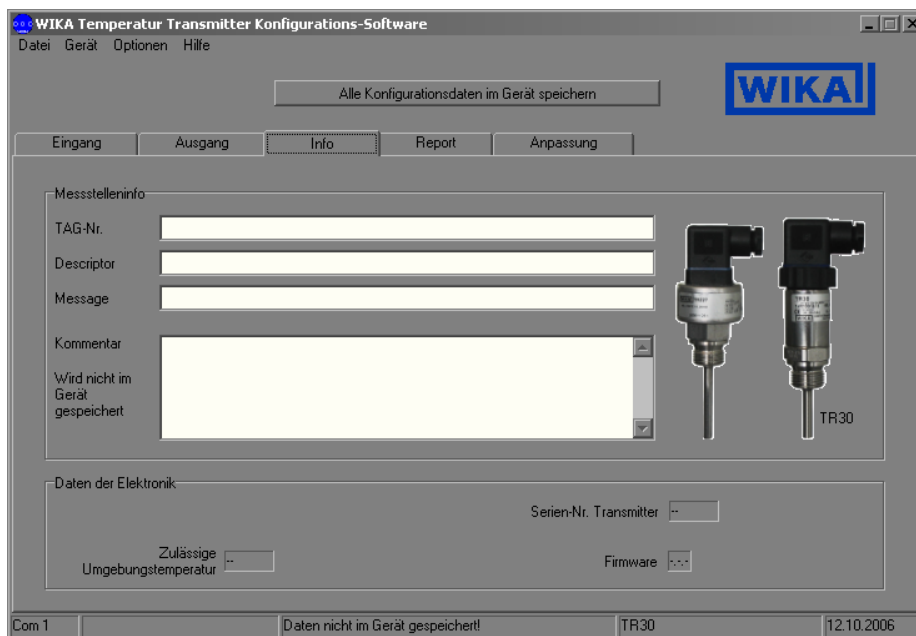
## Connection of Programming unit



## Configuration-Set

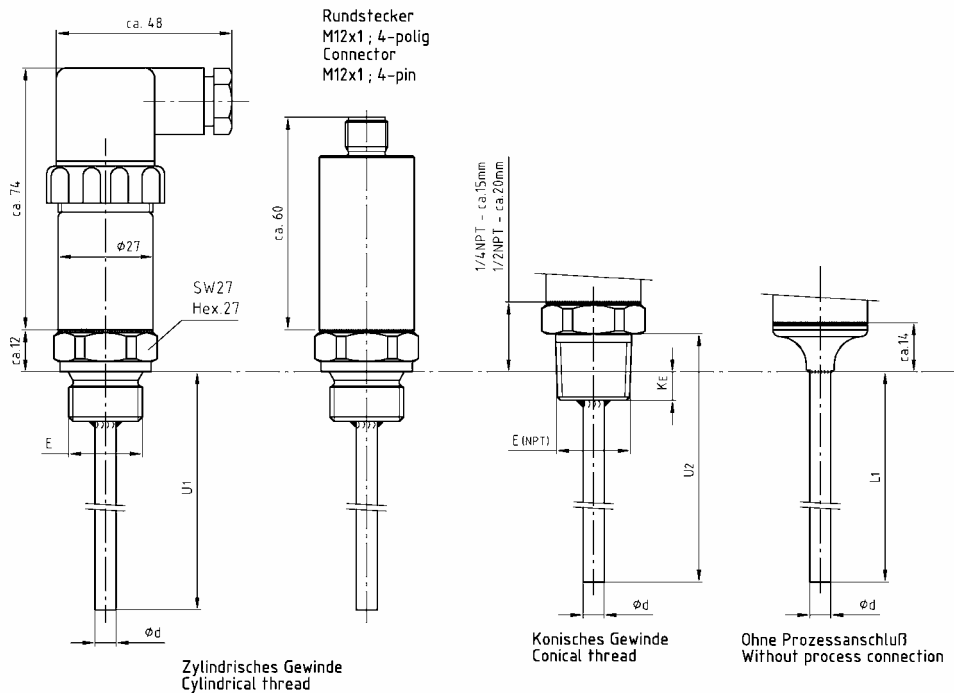


## Screenshot of the configuration-software

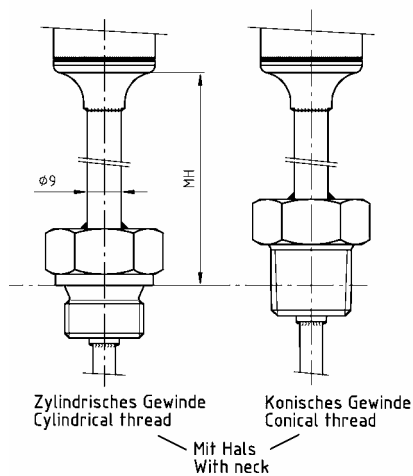


## Dimensions

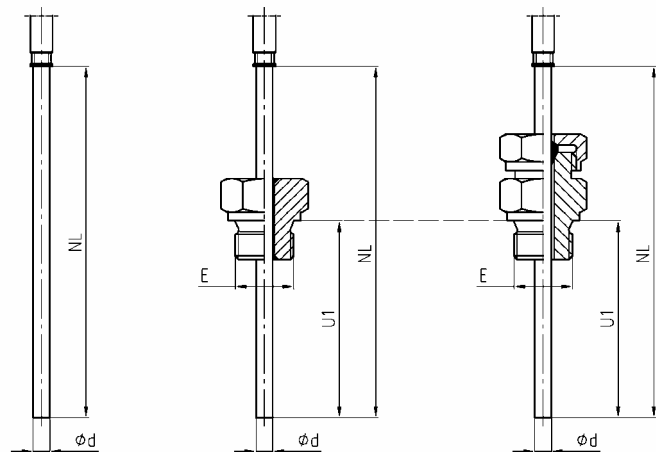
Stecker nach  
DIN EN 175301-803  
Connector per  
DIN EN 175301-803



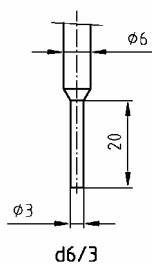
## Model with neck tube



## Model with compression fitting



## Model with tapered tip



314.8061.01

# Pressure Transmitter for Precision Measurement

## Model P-10, standard version

## Model P-11, flush diaphragm

WIKA Data Sheet PE 81.32



### Applications

- Automation engineering
- Test bench construction
- Laboratories
- Maintenance shops

### Special Features

- Accuracy  $\leq 0,1\%$  (optionally  $0,05\%$ ) of span
- No additional temperature error in the range  $0 \dots 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Digital data processing
- Pressure ranges  $0 \dots 250\text{ mbar}$  to  $0 \dots 1000\text{ bar}$
- Fully welded, stainless steel diaphragm

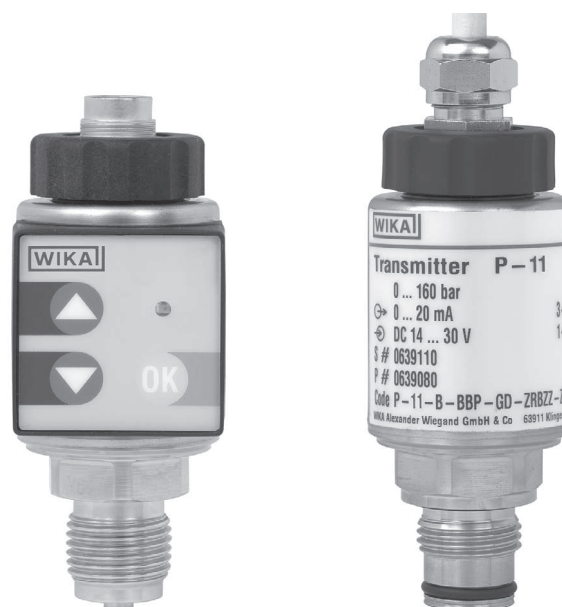


Fig. left Pressure transmitter P-10 with key pad  
Fig. right Pressure transmitter P-11 with flying leads

## Description

### High precision

Pressure transmitters with an accuracy of  $0.1\%$  (or  $0.05\%$ ) are mainly used for testing, calibration and service applications as well as in the process technology and in laboratories.

### Digital signal processing

The digital data processing of the precision pressure transmitter P-1\* ensures outstanding values regarding linearity and repeatability. System-related temperature errors occurring usually in pressure measuring instruments are compensated by the temperature sensor integrated in the process connection in combination with the digital data processing via microprocessor. This guarantees a total temperature error of less than  $0.1\%$  in the range of  $0 \dots 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Easy zero point adjustment

Due to the use of sensor elements with a very high long-term stability a recalibration is not necessary during normal operation. Should a recalibration be necessary for process reasons, the pressure transmitter P-1\* can be equipped with a key pad for easy zero point adjustment.

### Software - Easy Com

Another option is the communication software Easy Com. This software makes an easy calibration of zero and span possible.

### Flush version

The model P-11, flush diaphragm series, is especially designed for measuring media that is highly viscous, crystallizing or contains particulates.

## Specifications

## Model P-10 / P-11

Pressure ranges	bar	0.25	0.4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16
Over pressure safety	bar	2	2	4	5	10	10	17	35	35	80
Burst pressure	bar	2.4	2.4	4.8	6	12	12	20.5	42	42	96
Pressure ranges	bar	25	40	60	100	160	250	400	600	1000 <sup>1)</sup>	
Over pressure safety	bar	50	80	120	200	320	500	800	1200	1500	
Burst pressure	bar	96	400	550	800	1000	1200	1700 <sup>2)</sup>	2400 <sup>2)</sup>	3000	
{Vacuum, gauge pressure, compound range, absolute pressure are available}											
{compound ranges: minimum span 400 mbar, z.B. -200 mbar ... +200 mbar}											
<sup>1)</sup> Only Model P-10.											
<sup>2)</sup> For Model P-11: the value specified in the table applies only when sealing is realised with the sealing ring underneath the hex. Otherwise max. 1500 bar applies.											
Materials											
■ Wetted parts		(other materials see WIKA diaphragm seal program)									
➤ Model P-10		Stainless steel (pressure ranges > 25 bar additional Elgiloy®)									
➤ Model P-11		Stainless steel {Hastelloy C4}; O-Ring: NBR {FPM/FKM or EPDM}									
■ Case		Stainless steel {key pad plastic}									
Internal transmission fluid <sup>3)</sup>		Synthetic oil {Halocarbon oil for oxygen applications}									
		{Listed by FDA for Food & Beverage}									
<sup>3)</sup> Not for P-10 with pressure ranges > 25 bar											
Power supply U <sub>B</sub>	U <sub>B</sub> in DC V	14 < U <sub>B</sub> ≤ 30 (10 ... 30 with signal output 4 ... 20 mA, 2-wire)									
Signal output and maximum load R <sub>A</sub>	R <sub>A</sub> in Ohm	0 ... 20 mA, 3-wire R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>B</sub> - 14 V) / 0.02 A									
		4 ... 20 mA, 2-wire R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>B</sub> - 10 V) / 0.02 A									
		4 ... 20 mA, 3-wire} R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>B</sub> - 14 V) / 0.02 A									
		{0 ... 5 V, 3-wire} R <sub>A</sub> > 5000									
		{0 ... 10 V, 3-wire} R <sub>A</sub> >10000									
Adjustability											
■ zero	%	-5 ... +20 (0 ... +20 with 0 ... 20 mA)									
		{adjustment via setting keys or software Easy Com 2.0}									
■ span	%	-5 ... +5 {adjustment via software Easy Com 2.0}									
Internal measuring rate	Hz	100 <sup>4)</sup>									
<sup>4)</sup> 50 Hz with pressure ranges ≤ 1 bar or compound pressure ranges ≤ 3 bar span											
Warm-up time	min	< 10									
Accuracy <sup>5)</sup>	% of span	≤ 0.10 in the range 0 ... 50 °C / 32 ... 122 °F {< 0,05 at 20 °C / 68 °F} <sup>6)</sup>									
<sup>5)</sup> Including non-linearity, hysteresis, non-repeatability, zero point and full scale error (corresponds to error of measurement per IEC 61298-2).											
Adjusted in vertical mounting position with lower pressure connection.											
<sup>6)</sup> Cannot be manufactured for: compound ranges and pressure ranges ≤ 0,4 bar											
Non-linearity	% of span	≤ 0.04 (BFSL) according to IEC 61298-2									
1-year stability	% of span	≤ 0.1 (at reference conditions)									
Permissible temperature of											
■ Medium <sup>*</sup> )		-20 ... +80 °C					-4 ... +176 °F				
■ Ambience		-20 ... +80 °C					-4 ... +176 °F				
■ Storage		-40 ... +85 °C (-20 ... +85 °C with keys)					-40 .. +185 °F (-4 ... +185 °F with keys)				
Compensated temp. range		-20 ... +80 °C					-4 ... +176 °F				
Temperature coefficients within compensated temp range		(the temperature related deviations in the range 0 ... 50 °C (32 ... 122 °F) are already covered by the accuracy above)									
■ Mean TC of zero	% of span	≤ 0.1 / 10 K									
■ Mean TC of range	% of span	≤ 0.1 / 10 K									
CE- conformity		89/336/EEC interference emission and immunity see EN 61 326									
		97/23/EC Pressure equipment directive (Module H)									
Shock resistance	g	< 100 according to IEC 60068-2-27 (mechanical shock)									
Vibration resistance	g	< 5 according to IEC 60068-2-6 (vibration under resonance)									
Wiring protection		Protected against reverse polarity (max. 10 min.) and short circuiting									
Mass	kg	Approx. 0.3									

<sup>\*</sup>) In an oxygen version model P-11 is not available. In an oxygen version model P-10 is only available with media temperatures between -20 ... +60 °C / -4 ... +140° F.

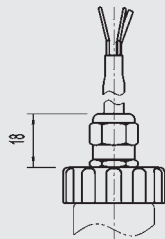
{ } Items in curved brackets are optional extras for additional price.



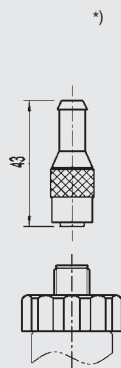
## Dimensions in mm

### Electrical connections

Flying leads  
conductor cross section  
0.5 mm<sup>2</sup> / AWG 20 with end  
splices, conductor outer  
diameter approx. 6.5 mm,  
IP 67  
Order code: DL

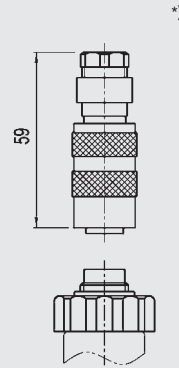


Circular connector  
4-pin M 12x1,  
IP 67  
Order code: M4

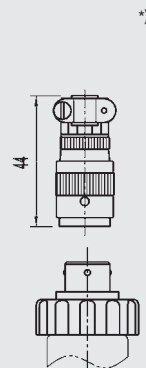


### Ingress Protection IP per IEC 60 529

{Circular connector  
M 16x0,75, 5-pin,  
IP 65}  
Order code: B5

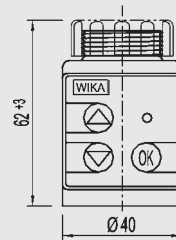
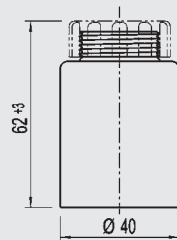


{Bayonet connector  
6-pin}  
IP 67  
Order code: C6



Others on request

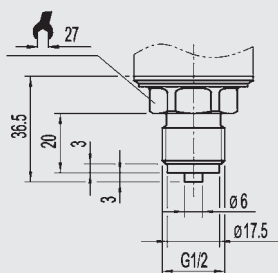
### Case



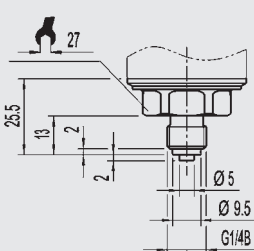
{key pad for zero point adjustment}  
For this option the ingress protection  
is IP 40.

### Pressure connections P-10

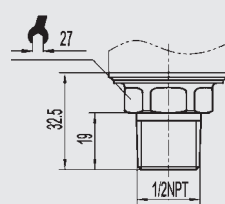
G 1/2  
Order code: GD



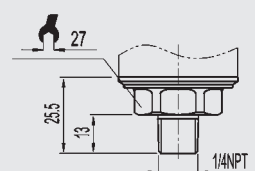
G 1/4  
Order code: GB



1/2 NPT  
per „Nominal size for  
US standard tapered  
pipe thread NPT“  
Order code: ND



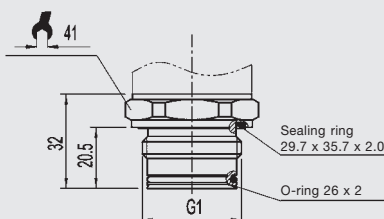
1/4 NPT  
per „Nominal size for  
US standard tapered  
pipe thread NPT“  
Order code: NB



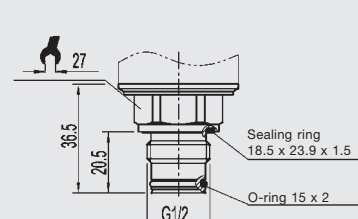
Others on request

### Pressure connections P-11, flush diaphragm

G 1  
0 ... 0,25 up to 0 ... 1,6 bar)  
Order code: 85



G 1/2  
0 ... 2,5 up to 0 ... 600 bar  
Order code: 86



Others on request

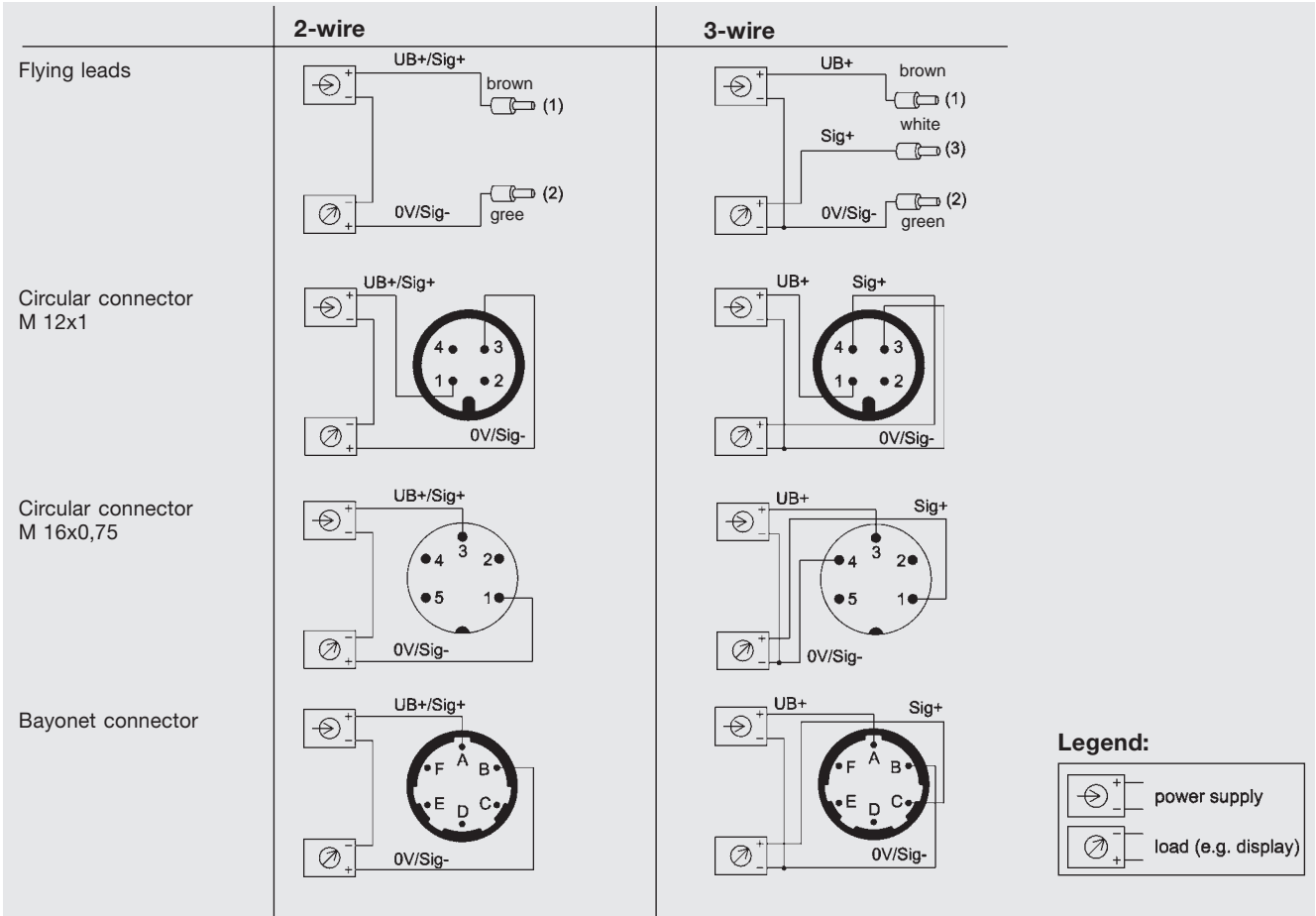
For installation and safety instructions see the operating instructions for this product.

For tapped holes and welding sockets please see Technical Information IN 00.14 for download at  
[www.wika.de](http://www.wika.de) -Service

1) Connectors are not included in delivery

{ } Items in curved brackets are optional extras for additional price.

Wiring details



Accessories

Order-No.	
Software EasyCom, incl. cable set 9-pin Sub-D for internal service interface	7133507

Further information

You can obtain further information (data sheets, instructions, etc.) via Internet address [www.wika.de](http://www.wika.de)

Specifications and dimensions given in this leaflet represent the state of engineering at the time of printing. Modifications may take place and materials specified may be replaced by others without prior notice.



**WIKAL Alexander Wiegand GmbH & Co. KG**  
Alexander-Wiegand-Straße 30  
63911 Klingenberg/Germany  
Phone (+49) 93 72/132-0  
Telefax (+49) 93 72/132-406  
E-Mail [support-tronic@wika.de](mailto:support-tronic@wika.de)  
[www.wika.de](http://www.wika.de)

## Display Type 571



### Your benefit

- AC and DC supply voltage in one unit
- Measuring function can be programmed for RPM, speed (from elapsed time), machine cycle time, throughput and baking time (time interval), as well as numerous count and stop-watch functions
- Scaleable display, programmed via 2 keys
- Large 15 mm [0.591"] high LED-display, 6-digit, with adjustable brightness

### Product features

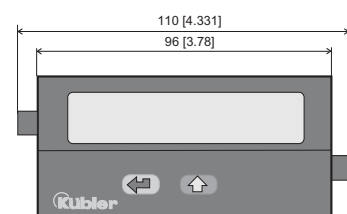
- Fast count input, works with our **LIMES** measuring system (100KHz)
- Version with 2 optocoupler outputs for alarms
- Version with analogue output, resolution 14 Bit: 0 ... 10 V, +10 V ... -10 V, 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA
- Version with serial interface RS232/485 for importing and exporting data
- 48 x 96 mm [1.89 x 3.78"] DIN housing, IP 65

### Technical data:

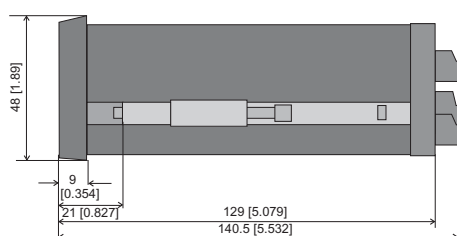
Supply voltage:	16 ... 35 V DC (Normal voltage: 24 V DC)
Display:	15 mm [0.591"] high LED-display, 6 digits
Current consumption [DC]:	18 V: 120 mA; 24 V: 95 mA; 30 V: 80 mA
Power consumption [AC]:	7.5 VA
Sensor power supply:	24 V DC $\pm$ 15%, 120 mA (at AC and DC supply)
<b>Inputs:</b>	3 Inputs (PNP, NPN and Namur) A, B = Impulse, C = Reset
Max. input frequency:	A, B = 25 kHz (100 kHz at count); C = 1 kHz
(Accuracy:	$\pm$ 1 ppm $\pm$ 1 digit
Input level HTL:	Low: 0 ... 3.5 V High: 9 ... 35 V

<b>Outputs:</b>	
Analogue-Output: (0.571.012.E90)	0 ... +10 V, 0 ... -10 V and 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA
Resolution:	14 Bit + Sign
Accuracy:	0,1 %
Optocoupler-Output: (0.571.011.E00)	5 ... 35 V DC/150 mA
Interface (0.571.012.E05)	RS232 and RS485 acc. to ISO 1745 Drivecom Protocol
Operating temperature:	0 ... +45 °C [32 °F ... 113 °F]
Storage temperature:	-25 ... +70 °C [-13 °F ... 158 °F]
Protection:	IP 65 front side
EMC:	according to EC EMC directive 89/36/EWG
Interference emission:	EN 50081-2/EN 55011 class B
Interference resistance:	EN 6100-6-2
Weight:	approx. 200 g [7.055 oz]

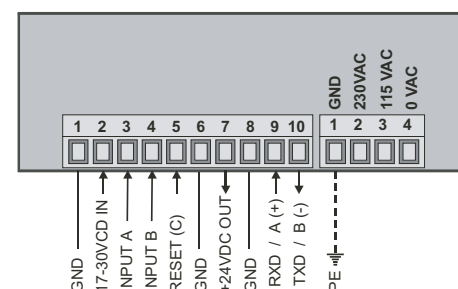
### Dimensions:



Panel cut out: 91 x 44 mm [3.583 x 1.732]

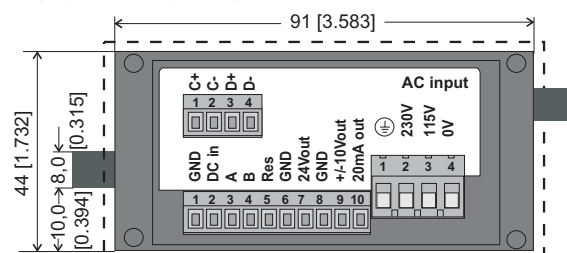


Display with serial interface (0.571.012.E05)

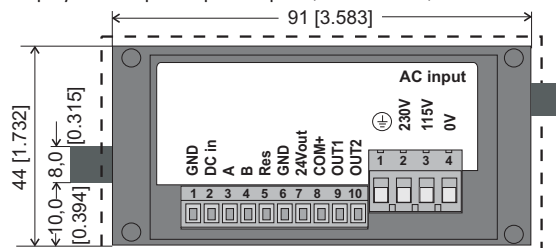


### Terminal assignment:

Display with analogue output (0.571.012.E90)



Display with 2 optocoupler outputs (0.571.011.E00)



### Delivery specifications:

- Display 571
- Mounting kit
- Seal
- Plug-in screw terminals
- Manual German/English

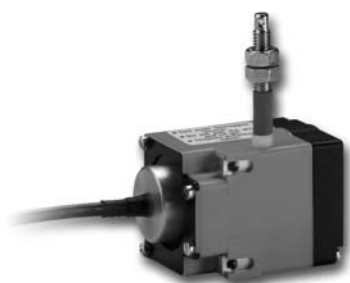
### Order data:

- Display with 2 outputs Order code: 0.571.011.E00\*
- Display with analogue output Order code: 0.571.012.E90\*
- Display with ser. interface Order code: 0.571.012.E05

\* standard stock model



### Mini draw wire encoder, incremental



#### Introduction

Measuring length and position is one of the routine tasks in the manufacture of machinery and plant. Draw wire encoders offer proven cost-effective solutions in such applications. Linear motion is converted to rotary motion using a wire that is drawn out or in from the draw wire mechanism. This rotation is converted into corresponding electrical signals by an encoder or potentiometer connected to the mechanism.

The electrical signals can then be processed by remote displays, counters or controllers. The Kübler also provides an extensive range of displays, counters and controllers..

- Compact
- Measuring length up to 2000 mm
- Robust construction

#### Mechanical characteristics of the draw-wire encoders:

Measuring range:	up to 2000 mm
Absolute accuracy:	$\pm 0.1$ % for the whole measuring range
Repetition accuracy	$\pm 0.15$ mm per direction of travel
Resolution (incremental):	0.1 mm (standard encoder) with 1000 ppr.
Traversing speed:	max. 800 mm/s
Required force:	approx. 10 N (on wire)
Material:	Housing: reinforced plastic Wire: stainless steel $\varnothing$ 0.45 mm, plastic coated
Weight:	approx. 0.210 kg

#### Description of the incremental encoder (connected on load side)

- Compensation for temperature and ageing
- Short-circuit protected outputs
- Reverse polarity protected power-supply input
- Push-pull output

#### Mechanical characteristics:

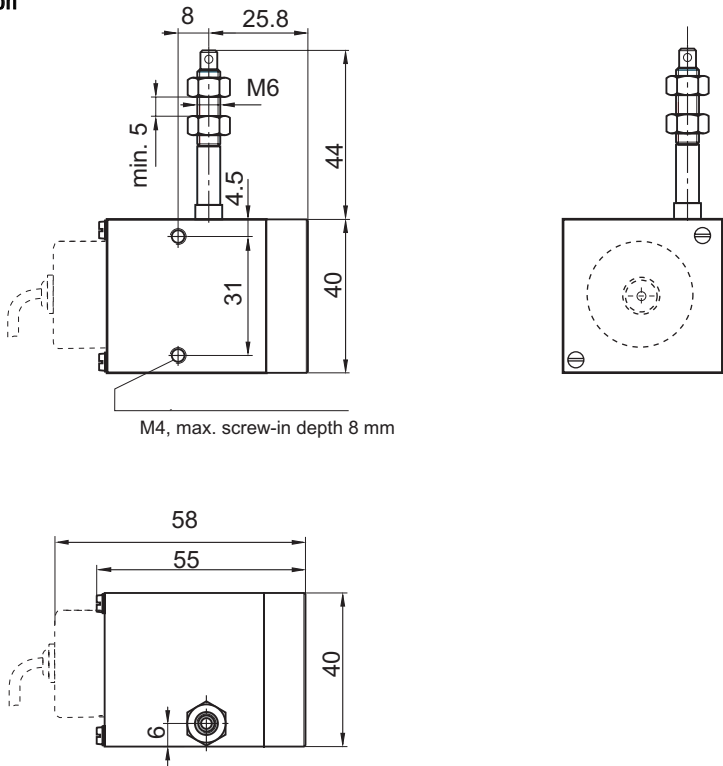
Protection acc. to EN 60529:	IP 64 from housing side
Working temperature:	$-20^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$
Operating temperature:	$-20^{\circ}\text{C} \dots +90^{\circ}\text{C}$
Shock resistance acc. to DIN-IEC 68-2-27:	1000 m/s <sup>2</sup> , 6 ms
Vibration resistance acc. to DIN-IEC 68-2-27:	100 m/s <sup>2</sup> , 55 ... 2000 Hz

#### Electrical characteristics:

Output circuits:	Push-pull	Push-pull
Supply voltage:	5 ... 24 V DC	8 ... 30 V DC
Current consumption (without load):	max. 50 mA	max. 50 mA
Permitted load per channel:	max. 50 mA	max. 50 mA
Pulse rate:	max. 160 kHz	max. 160 kHz
Switching level high:	min. $U_B - 2.5$ V	min. $U_B - 3$ V
Switching level low:	max. 0.5 V	max. 2.5 V
Rise time $t_r$ :	max. 1 $\mu$ s	max. 1 $\mu$ s
Fall time $t_f$ :	max. 1 $\mu$ s	max. 1 $\mu$ s
Short-circuit protected outputs:	yes	yes
Conforms to CE requirements acc. to EN 61000-6-1, EN 61000-6-4 and EN 61000-6-3		

Mini draw wire encoder incremental

Dimension

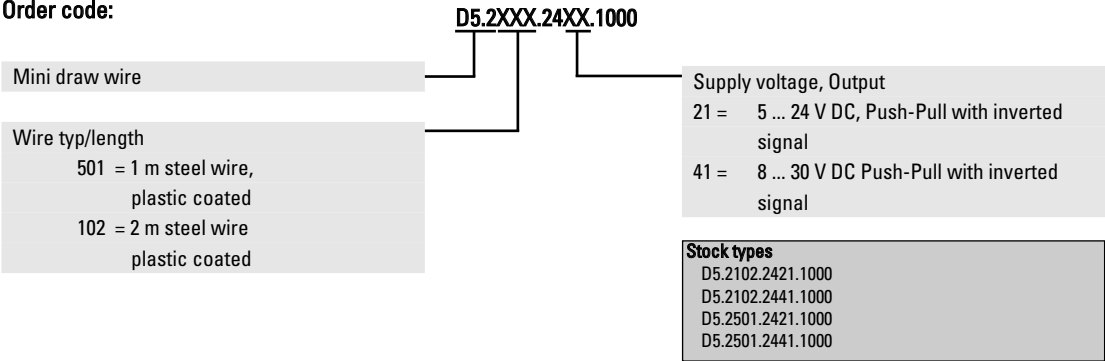


Terminal assignment of the encoder:

Signal:	0V	+U <sub>B</sub>	A	$\bar{A}$
Cable colour:	WH	BN	GN	YE
Signal:	B	$\bar{B}$	0	$\bar{0}$
Cable colour:	GY	PK	BU	RD

Isolate unused outputs before start-up.

Order code:



### Mini draw wire encoder, analogue output



- Compact
- Measuring length up to 2000 mm
- Robust construction
- Simple processing of analogue signal by means of a digital panel meter
- Low-cost alternative to encoder version
- Voltage or current output

#### Mechanical characteristics of the draw-wire encoder:

Measuring range:	up to 2000 mm		
Absolute accuracy:	±0.35 % for the whole measuring range		
Repetition accuracy:	±0.15 mm per direction of travel		
Resolution:	analogue output signal		
	1 m ⇒ 0 ... 10 V DC	2 m ⇒ 0 ... 10 V DC	
	1 m ⇒ 4 ... 20 mA	2 m ⇒ 4 ... 20 mA	
	1 m ⇒ 0 ... 10 kΩ	2 m ⇒ 0 ... 10 kΩ	
Traversing speed:	max. 800 mm/s		
Required force:	approx. 10 N (on wire)		
Material:	Housing: reinforced plastic		
	Wire: stainless steel ø 0.45 mm, plastic coated		
Weight:	approx. 0.210 kg		

#### Electrical characteristics:

Analogue output:	0 ... 10 V	4 ... 20 mA	Potentiometer 10 kΩ
Supply voltage:	15 ... 28 V DC	15 ... 28 V DC	–
Temperature range:	0 ... 50 °C	0 ... 50 °C	0 ... 50 °C
Load:	max 500 Ω	max 500 Ω	–
Conforms to CE requirements acc. to EN 61000-6-1, EN 61000-6-4 and EN 61000-6-3			

#### Cable colour output 0 ... 10 V

Signal :	+ 24 V	GND	Uout
Colour:	BN	WH	GN

#### Cable colour output: 4 ... 20 mA

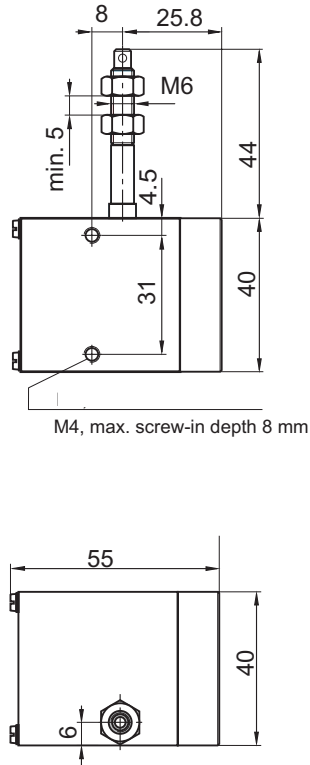
Signal :	+I	-I
Colour:	BN	WH

#### Cable colour output: Potentiometer

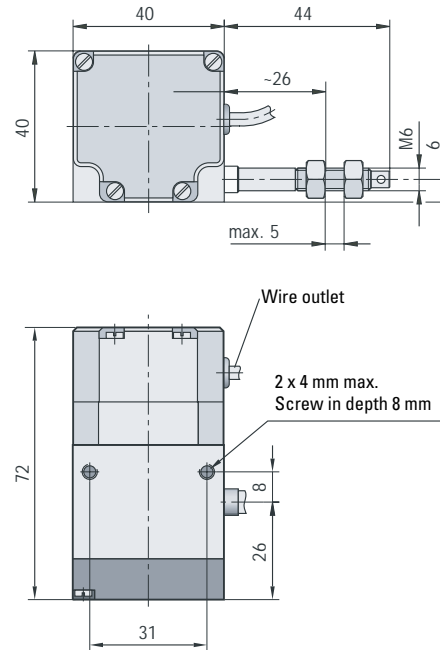
Sign	Po	Pe	S
Colour:	BN	WH	GN
	start	end	Wiper contact

### Mini draw wire encoder, analogue output

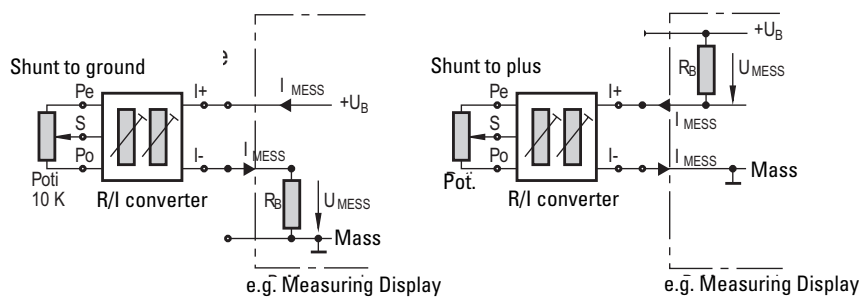
**Dimensions:**  
length = 1 m



**Dimensions:**  
length = 2 m



### Electrical connections (4 ... 20 mA):



### Order code:

**D5.350X.AXX1**

Mini draw wire

Wire typ/length

- 3501 = 1 m steel wire,  
plastic coated
- 3502 = 2 m steel wire,  
plastic coated

Supply voltage, Output

- 11 = Analogue output 4 ... 20 mA  
Supply voltage 15 ... 28 V DC
- 22 = Analogue output 0 ... 10 V DC  
Supply voltage 15 ... 28 V DC
- 33 = Potentiometer output 10 kΩ

### Stock types

- D5.3501.A111.0000
- D5.3501.A221.0000
- D5.3501.A331.0000



# Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB — 16-Bit, up to 400 kS/s, up to 32 Analog Inputs, Isolation

## NI USB-6210, NI USB-6211, NI USB-6212, NI USB-6215, NI USB-6216, NI USB-6218

- Up to 32 analog inputs at 16 bits, up to 400 kS/s (250 kS/s scanning)
- Up to 2 analog outputs at 16 bits
- Up to 32 TTL/CMOS digital I/O lines
- Two 32-bit, 80 MHz counter/timers
- Digital triggering
- NI-PGIA 2 and NI-MCal calibration technology for improved measurement accuracy
- NI signal streaming for 4 high-speed data streams on USB
- Bus-powered
- Available with CAT I isolation
- 1-year warranty
- Additional warranty and calibration services available

### Operating Systems

- Windows Vista (32- and 64-bit)/XP/2000

### Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows™/CVI
- Measurement Studio

### Other Compatible Software

- C#, Visual Basic .NET
- ANSI C/C++

### Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver software
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- LabVIEW SignalExpress LE



Family	Bus	Analog Inputs	Resolution (bits)	Max Rate (S/s)	Analog Outputs	Analog Input Resolution (bits)	Max Rate (S/s)	Range (V)	Digital I/O	32-Bit Counter	Isolation
USB-6210	USB	16	16	250 kS/s	0	16	250 k	±10	4 DI/4 DO	2	—
USB-6211	USB	16	16	250 kS/s	2	16	250 k	±10	4 DI/4 DO	2	—
USB-6212	USB	16	16	400 kS/s	2	16	250 k	±10	32 DIO	2	—
USB-6215	USB	16	16	250 kS/s	2	16	250 k	±10	4 DI/4 DO	2	60V CAT I
USB-6216	USB	16	16	400 kS/s	2	16	250 k	±10	32 DIO	2	60V CAT I
USB-6218	USB	32	16	250 kS/s	2	16	250 k	±10	8 DI/8 DO	2	60V CAT I

Table 1. NI USB-621x Selection Guide

## Overview and Applications

With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement and automation applications. National Instruments M Series devices for USB deliver high-performance data acquisition in an easy-to-use and portable form factor through USB ports on laptop computers and other portable computing platforms. NI designed a new and innovative patent-pending NI signal streaming technology that enables sustained bidirectional high-speed data streams on USB. The new technology, combined with advanced external synchronization and isolation, helps engineers and scientists achieve high-performance applications on USB.

NI M Series bus-powered multifunction data acquisition (DAQ) modules for USB are optimized for superior accuracy in a small form factor. They provide an onboard NI-PGIA 2 amplifier designed for fast settling times at high scanning rates, ensuring 16-bit accuracy even when measuring all available channels at maximum speed.

All bus-powered devices have a minimum of 16 analog inputs, digital triggering, and two counter/timers. USB M Series devices are ideal for test, control, and design applications including:

- Portable data logging — log environmental or voltage data quickly and easily
- Field-monitoring applications
- Embedded OEM applications
- In-vehicle data acquisition
- Academic lab use — academic discounts available

## NI Signal Streaming

To optimize the use of the Universal Serial Bus (USB) and deliver high-performance data acquisition, National Instruments created several key technologies to push the limits of USB throughput and latency. NI signal streaming combines three innovative hardware- and software-level design elements to enable sustained high-speed and bidirectional data streams over USB. For more information, visit [ni.com/usb](http://ni.com/usb).

## Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB — 16-Bit, up to 400 kS/s, up to 32 Analog Inputs, Isolation

### M Series for Test

USB M Series multifunction DAQ devices complement existing test systems that need additional measurement channels. For higher-channel-count signal conditioning on USB, consider the NI CompactDAQ or SCXI platforms.

### USB M Series for Design

For design applications, you can use a wide range of I/O – from 16 differential analog inputs to 32 digital lines – to measure and verify prototype designs. USB M Series devices and National Instruments LabVIEW SignalExpress interactive measurement software bring benchtop measurements to the PC. With NI LabVIEW SignalExpress, you can quickly create design verification tests. You can convert your tested and verified LabVIEW SignalExpress projects to LabVIEW applications for immediate M Series DAQ use, and bridge the gap between test and design applications.

### USB M Series for OEMs

Shorten your time to market by integrating National Instruments OEM products in your design. Board-only versions of USB M Series DAQ devices are available for OEM applications, with competitive quantity pricing and available software customization. The NI OEM Elite Program offers free 30-day trial kits for qualified customers. Visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem) for more information.

### Recommended Training and Services

All M Series devices are available with additional warranty and calibration services. For new data acquisition programmers, NI recommends the “Data Acquisition: 7 Steps to Success” tutorial kit. This tutorial kit helps shorten development time for data acquisition applications by describing the various stages of getting started with DAQ including system definition, setup, test, and application programming.

### Recommended Software

National Instruments measurement services software, built around NI-DAQmx driver software, includes intuitive application programming interfaces, configuration tools, I/O assistants, and other tools designed to reduce system setup, configuration, and development time. National Instruments recommends using the latest version of NI-DAQmx driver software for application development in National Instruments LabVIEW, LabVIEW SignalExpress, LabWindows/CVI, and Measurement Studio. To obtain the latest version of NI-DAQmx, visit [ni.com/support/daq/versions](http://ni.com/support/daq/versions). NI measurement services software speeds up your development with features including:

- A guide to create fast and accurate measurements with no programming using DAQ Assistant

- Automatic code generation to create your application in LabVIEW; LabWindows/CVI; LabVIEW SignalExpress; and C#, Visual Studio .NET, ANSI C/C++, or Visual Basic using Measurement Studio
- Multithreaded streaming technology for 1,000 times performance improvements
- Automatic timing, triggering, and synchronization routing to make advanced applications easy
- More than 3,000 free software downloads to jump-start your project available at [ni.com/zone](http://ni.com/zone)
- Software configuration of all digital I/O features without hardware switches/jumpers
- Single programming interface for analog input, analog output, digital I/O, and counters on hundreds of multifunction DAQ hardware devices

M Series devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW, LabWindows/CVI, or Measurement Studio versions 7.x; and LabVIEW SignalExpress 2.x.

#### Ordering Information

NI USB-6210 .....	779675-01
NI USB-6211 .....	779676-01
NI USB-6212 .....	780107-01
NI USB-6215 .....	779677-01
NI USB-6216 .....	780108-01
NI USB-6218 .....	779678-01

Includes NI-DAQmx data acquisition driver software, 1 m USB cable, and AC adapter.

#### Board-Only Devices for OEM

NI USB-6211 OEM	
1 each .....	196203-03
10 each .....	779803-01
NI USB-6212 OEM	
1 each .....	197504-03
10 each .....	780171-01
NI USB-6216 OEM	
1 each .....	197504-01
10 each .....	780172-01
NI USB-6218 OEM	
1 each .....	196203-01
10 each .....	779805-01

#### Data Acquisition Services

Data Acquisition: 7 Steps to Success.....	779489-01
-------------------------------------------	-----------

#### BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 813 3693 (U.S.) or go to [ni.com/usb](http://ni.com/usb).

# Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB — 16-Bit, up to 400 kS/s, up to 32 Analog Inputs, Isolation

## Specifications

Please refer to the NI USB-621x specifications document for more detailed information. Specifications listed below are typical at 25 °C unless otherwise noted.

### Analog Input

Number of channels	
USB-6210/6211/6212/6215/6216..	8 differential or 16 single ended
USB-6218 .....	16 differential or 32 single ended
ADC resolution.....	16 bits
Sampling rate	
USB-6210/6211/6215/6218 .....	250 kS/s single channel, 250 kS/s multichannel (aggregate)
USB-6212/6216 .....	400 kS/s single-channel, 400 kS/s multichannel (aggregate)
Input coupling .....	DC
Input range	
USB-6210/6211/6212/ 6215/6216/6218.....	±10, ±5, ±1, ±0.2 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode) .....	±10.4 V of AI GND
Input impedance	
Device on	
AI+ to AI GND.....	>10 GΩ in parallel with 100 pF
AI- to AI GND.....	>10 GΩ in parallel with 100 pF
Device off	
AI+ to AI GND.....	1200 Ω
AI- to AI GND.....	1200 Ω
Input bias current.....	±100 pA
Crosstalk (at 100 kHz)	
Adjacent channels .....	-75 dB
Nonadjacent channels .....	-90 dB
Input FIFO size.....	4,095 samples
Scan list memory .....	4,095 entries
Data transfers .....	NI signal streaming on USB, programmed I/O

### Analog Output

Number of channels	
USB-6210 .....	0
USB-6211/6212/6215/6216/6218..	2
DAC resolution.....	16 bits
Maximum update rate	
1 channel .....	250 kS/s
2 channels.....	250 kS/s per channel
Timing accuracy .....	50 ppm of sample rate
Timing resolution .....	50 ns
Output range .....	±10 V
Output coupling.....	DC
Output impedance.....	0.2 Ω
Output current drive.....	±2 mA

Output FIFO size .....	8,191 samples shared among channels used
Data transfers .....	NI signal streaming on USB, programmed I/O

### Calibration (AI and AO)

Recommended warm-up time.....	15 minutes
Calibration interval .....	1 year

### Digital I/O/PFI

#### Static Characteristics

Number of channels	
Digital input	
USB-6210/6211/6215.....	4
USB-6218.....	8
Digital output	
USB-6210/6211/6215.....	4
USB-6218.....	8
Digital input/output	
USB-6212/6216 .....	32
Ground reference .....	D GND
Direction control .....	Each terminal individually programmable as input or output
Pull-down resistor	
USB-6210/6211/6215/6218 .....	47 kΩ ±1%
USB-6212/6216 .....	50 kΩ typical, 20 kΩ minimum

#### PFI Functionality

##### USB-6210/6211/6215/6218

Functionality.....	Static digital input, static digital output, timing input, timing output
Timing output sources.....	Many AI, AO, counter, DI, DO timing signals
Debounce filter settings .....	125 ns, 6.425 μs, 2.56 ms, disable; high and low transitions; selectable per input

##### USB-6212/6216

Functionality.....	Static digital input, static digital output, timing input, timing output
Timing output sources.....	Many AI, AO, counter timing signals
Debounce filter settings .....	125 ns, 6.425 ms, 2.56 ms, disable; high and low transitions; selectable per input timing signals

### General-Purpose Counter/Timers

Number of counter/timers.....	2
Counter measurements.....	Edge counting, pulse, semiperiod, period, two-edge separation

## Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB — 16-Bit, up to 400 kS/s, up to 32 Analog Inputs, Isolation

Position measurements .....	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications .....	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks .....	80 MHz 20 MHz 0.1 MHz
Base clock accuracy .....	50 ppm
Inputs .....	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Data transfers .....	NI signal streaming on USB, programmed I/O

### Frequency Generator

Number of channels .....	1
Base clocks .....	10 MHz, 100 kHz
Divisors .....	1 to 16
Base clock accuracy .....	50 ppm
Output can be available on any output PFI line.	

### External Digital Triggers

Source .....	Any input PFI
Polarity .....	Software-selectable for most signals
Analog input function .....	Start Trigger Reference Trigger Pause Trigger Sample Clock Convert Clock Sample Clock Timebase
Analog output function .....	Start Trigger Pause Trigger Sample Clock Sample Clock Timebase
Counter/timer functions .....	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down

### Bus Interface

USB .....	Hi-Speed USB or full-speed USB
NI signal streaming .....	4 high-speed data streams; can be used for analog input, analog output, counter/timer 0, counter/timer 1

### Power Requirements

USB	
Input voltage on USB-621x	
USB port .....	4.5 to 5.25 V in configured state

**Caution:** Do not exceed 16 mA per DIO pin.

### Maximum Working Voltage

USB-6210/6211/6212	
Channel-to-earth ground .....	11 V, Measurement Category I

**Caution:** Do not use for measurements within categories II, III, or IV.

USB-6215/6216/6218	
Channel-to-earth ground	
Continuous .....	30 V <sub>rms</sub> /60 VDC
Measurement Category I	
Withstand .....	840 V <sub>rms</sub> /1200 VDC
Verified by a 5 s dielectric withstand test	
Channel-to-bus	
Continuous .....	30 V <sub>rms</sub> /60 VDC
Measurement Category I	
Withstand .....	1400 V <sub>rms</sub> /1950 VDC
Verified by a 5 s dielectric withstand test	

**Caution:** This device is rated for Measurement Category I and the voltage across the isolation barrier is limited to no greater than 30 V<sub>rms</sub>/60 VDC/42.4 V<sub>pk</sub> continuous. Do not use for measurements within categories II, III, or IV.

### Physical Requirements

Enclosure dimensions (includes connectors) .....	16.9 by 9.4 by 3.1 cm (6.65 by 3.70 by 1.20 in.)
Weight .....	205 g (7.23 oz)
I/O connector	
USB-6210/6211/6215 .....	Two 16-position COMBICON
USB-6212/6216/6218 .....	Four 16-position COMBICON
USB connector .....	Series B receptacle
Screw terminal wiring .....	16 to 28 AWG

### Environmental

Operating temperature .....	0 to 45 °C
Storage temperature .....	-20 to 70 °C
Humidity .....	10 to 90% RH, noncondensing
Maximum altitude .....	2,000 m
Pollution degree (indoor use only) .....	2

### Safety and Compliance

#### Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

**Note:** For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

## Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB — 16-Bit, up to 400 kS/s, up to 32 Analog Inputs, Isolation

- EN 61326 EMC requirements; Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions; Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions; Class A

**Note:** For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

**Note:** Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

### Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**EU Customers:** At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

### 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

# NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle — from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).

## Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit [ni.com/training](http://ni.com/training).

## Professional Services

Our NI Professional Services team is composed of NI applications and systems engineers and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and

integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).



## OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at [ni.com/support](http://ni.com/support).

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit [ni.com/ssp](http://ni.com/ssp).

## Hardware Services

### NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

### Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).



[ni.com](http://ni.com) • 800 813 3693

National Instruments • [info@ni.com](mailto:info@ni.com)



351528A-01

2007-9187-301-101-D

## RENOLIN MR

Pág. 1/2

### Fluidos lubrificantes e hidráulicos especiais com excelente protecção anti-corrosiva.

#### Descrição

Os óleos RENOLIN MR são fluidos lubrificantes e hidráulicos especiais HLP-D de acordo com a norma DIN 51 502 com excelente protecção anti-corrosiva, excelentes propriedades de separação e transporte de contaminantes (propriedades detergente/dispersante). O RENOLIN MR contém Zinco e é usado como solução em sistemas hidráulicos onde os óleos convencionais falham.

#### Aplicação

Os óleos da série RENOLIN MR são óleos para a lubrificação de rolamentos, especialmente recomendados para aplicações em sistemas hidráulicos estacionários e móveis onde o uso de um óleo hidráulico detergente/dispersante com baixos coeficientes de fricção, bom comportamento anti “stick-slip” e excelente protecção anti-corrosiva seja exigido. O RENOLIN MR também se adequa ao uso como óleo de fusos de alta velocidade e óleo de protecção anti-corrosiva.

#### Especificações

Os óleos RENOLIN MR satisfazem ou ultrapassam as seguintes especificações:

- DIN 51 524-2: HLP (excepção: propriedades desemulsificantes de acordo com DIN 51 599)
- ISO 6743-4: HM

#### Vantagens / Benefícios

- Excelente protecção anti-corrosiva.
- Baixa tendência à formação de espuma.
- Boas propriedades de libertação do ar.
- Elevada resistência ao envelhecimento.
- Bom comportamento viscosidade/ temperatura.
- Protecção anti-desgaste.
- Excelentes propriedades de separação e transporte de contaminantes.
- Baixo coeficiente de fricção.
- Redução dos efeitos do “stick-slip”.



As informações prestadas são baseadas nos nossos conhecimentos actuais, a partir das nossas experiências e desenvolvimentos técnicos. Sujeito a alteração.



# Ficha Técnica



## Dados Técnicos

Características	Unidade	Valor					Norma
<b>Nome do Produto</b>		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	
ISO VG				10	22	32	DIN 51 519
Viscosidade a 40°C a 100°C	cSt	2	5	10	22	32	DIN 51 550
	cSt	-	1,6	2,6	4,3	5,4	DIN 51 562-1
Índice de Viscosidade	-	-	80	90	95	95	DIN ISO 2909
Densidade a 15°C		0,817	0,837	0,956	0,872	0,874	DIN 51 757
Ponto de Inflamação	°C	75	85	166	165	210	DIN ISO 2592
Ponto de Fluxão	°C	-42	-36	-30	-30	-30	DIN ISO 3016

## Dados Técnicos

Características	Unidade	Valor				Norma
<b>Nome do Produto</b>		<b>15</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	
ISO VG		46	68	100	150	DIN 51 519
Viscosidade a 40°C a 100°C	cSt	46	68	100	150	DIN 51 550
	cSt	6,9	8,9	11,4	14,9	DIN 51 562-1
Índice de Viscosidade	-	106	105	100	98	DIN ISO 2909
Densidade a 15°C		0,887	0,881	0,883	0,889	DIN 51 757
Ponto de Inflamação	°C	220	225	248	250	DIN ISO 2592
Ponto de Fluxão	°C	-27	-24	-18	-18	DIN ISO 3016

AGO.03/CB (01)\_DQ/005/07 Pág. 2/2



# Gallus 2000

## Residential Diaphragm Gas Meter

### Basic Features

- ▶ Compact size
- ▶ 1.2 dm<sup>3</sup> cyclic volume
- ▶ Range G1.6, G2.5, G4
- ▶ EN1359 & O.I.M.L compliance

### Design

- ▶ Long-term accuracy & safety
- ▶ Ready for remote reading & data management

### Quality

- ▶ World-class, ISO9001 certified, European Engineering and Manufacturing

The Gallus 2000 is a compact residential gas meter designed to measure accurately volumes of natural gas, LPG and all non-corrosive gases.

### Application

The Gallus 2000, with an installed base of over 20 million units, is a versatile meter that makes it the preferred choice of many large utilities world-wide.

### Metrology

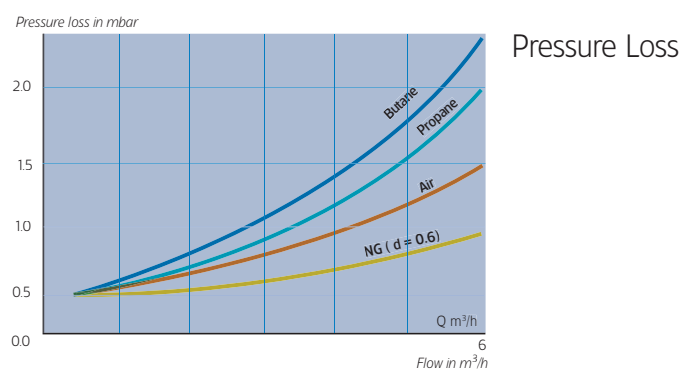
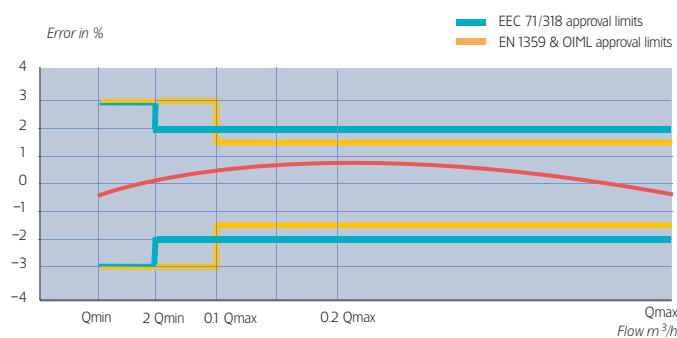
The Gallus 2000 gas meter meets O.I.M.L. and EN 1359 and more than 25 national metrological standards (DVGW, NMI Class 1, EEC 71/318...).

Its design and the careful choice of materials enable the Gallus 2000 to meet the highest demand in international markets in terms of accuracy and long-term stability.

During the preliminary test controls on the sonic nozzle test benches, all meters are tested at Q<sub>min</sub>, 0.2 Q<sub>max</sub> and Q<sub>max</sub>.



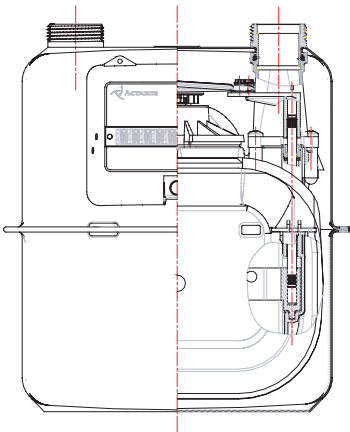
▶ Gallus 2000 Steel Version



## Operating Principle

The Gallus 2000 is a positive displacement diaphragm gas meter with a stand-alone twin chamber measuring unit.

The twin chambers are each fitted with a flexible and gas-tight diaphragm which is moved by the differential between the inlet and outlet pressure. The gas enters one side of the diaphragm pan while on the other side it comes out through a separate port on the valve. When one side is full, the rotating mono-valve moves on to the next position, allowing the gas to fill the empty side.



A transmission gear and a mechanical coupling or stuffing box transfer the reciprocating motion to the mechanical retrofittable index.

The measuring unit is housed in a robust gas-tight casing.

## Construction

### ► Casing

With its casing in steel, high protection against corrosion is ensured by 500 hours salt fog spray test resistant cataphoresis treatment. The aluminium version can withstand up to 1000 hours salt fog spray test.

The extreme strength of the case joint is achieved by rolling the belt & compressing the flanges into contact with a sealant applied between the faces. This forms a joint which is both gas-tight and fire-resistant.

### ► Measuring Unit

The achievement of the fixed stroke mechanism is the result of precision and high quality automation, and eliminates the need for an adjustable tangent. This confines all registration adjustments to the accessible change wheels behind the index.

The long life synthetic diaphragms, coupled to the well-proven movement design,

combine to give excellent stability and accuracy during the whole life of the meter.

All materials have been selected for their superior resistance to chemicals and gas. The valve and the grid, thanks to a special bakelite formulation, enjoy high gliding properties and are protected against premature wear.

Finally, a backrun stop prevents the meter from running backwards in case of tampering.

### ► Index

The meters are available with metric or cubic inch indexes. They come with a permanent magnet for pulse generation and can be retrofitted with a pulse transmitter. IP54 and IP67 versions are available for specific environments.

## Quality Assurance

Quality assurance procedures – such as ISO 9001– and strict controls throughout the manufacturing process ensure a very high quality level.

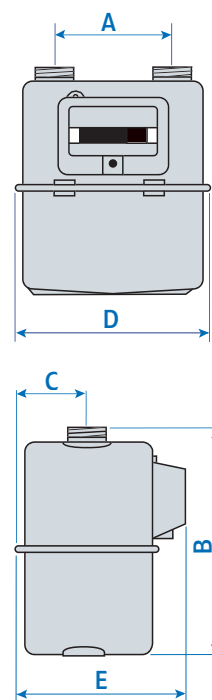
## Technical Characteristics

<b>Gas Type</b>	Natural gas, LPG and all non-corrosive gases	
<b>Cyclic Volume</b>	1.2 dm <sup>3</sup>	
<b>Operating Temperature</b>	- 20°C to + 50°C	
<b>Storage Temperature</b>	- 40°C to + 60°C	
<b>Maximum Operating Pressure</b>	0.5 bar for steel version 1.5 bar for aluminium version	
<b>Measuring Range</b>	G 1.6	Qmin 0.016 m <sup>3</sup> /h Qmax 2.5 m <sup>3</sup> /h
	G2.5	Qmin 0.025 m <sup>3</sup> /h Qmax 4 m <sup>3</sup> /h
	G4	Qmin 0.04 m <sup>3</sup> /h Qmax 6 m <sup>3</sup> /h
<b>Pulse Generator</b>	Standard 0.01 m <sup>3</sup> / pulse Optional 0.1 m <sup>3</sup> / pulse	
<b>Pulse Transmitter</b>	Retrofittable LF-system, 12 Vdc max – 10 mA max. standard 0.01 m <sup>3</sup> /pulse wire fixation by jack plug or connecting block	
<b>Colour</b>	RAL 9010	

## Dimensions

Meter case material	A	B	C	D	E	Weight	Connection threads according to ISO 228
Steel	Co-axial	230	67	190	152 ±4	1.45	DN 25 – Magnetic coupling
	100	212 ±2	67	190	156	1.45	DN 20 – G 1"1/4
	110	219 ±9	67	190	156	1.45	DN 20 – M20 x 1.5 – G 1" – G 3/4" – G 1"1/4 – G 7/8" – BS 1" – BS 3/4"
	130	225	80	240	156	1.6	G 1"1/4
	6"	240	80	240	156	1.6	BS 1"
	160	225 ±2	80	240	156	1.6	DN 20 – G 1" – G 3/4" – G 7/8"
Aluminium	220	270	72	283	170	2.6	G 3/4"
	250	259	78	331	178	2.65	G 1"1/4
	110	219	77	196	177	2.20	G 3/4" – G 1" – G 1"1/4
	6"	232	72	219	167	2	G 3/4" – G 1" – G 1"1/4

Please consult us for any other requests.



► Gallus 2000



► Gallus 2000 Aluminium version



► Gallus 2000 Asia version



► Gallus 2000 South America version

## Versions and Options

- Aluminium version
- LPG version
- Prepayment version
- Asia version
- South America version
- Retrofittable pulse transmitter
- Automatic Meter Reading through radio or telephone reading systems

## Accessories

Meter bars for two-pipe meters  
Valves, pipe connections, installation cabinets  
Domestic governors and safety shut-off valves

## Ordering Information

- Measuring range  
(G1.6, G2.5, G4)
- Maximum working pressure  
(0.5-1-1.5 bar)
- Meter interaxis  
and connection type
- Specific marking  
(serial number, logo, bar code)

### Actaris SAS

Rue Chrétien de Troyes  
ZAC Val de Murigny - BP 327  
51061 Reims - France  
For more information, [www.actaris.com](http://www.actaris.com)

tel +33 (0)3 26 05 65 00  
fax +33 (0)3 25 05 65 96



## CADERNO DE ENCARGOS

### PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

## PREÂMBULO

Pretende-se o orçamento para a construção mecânica e montagem das peças necessárias ao funcionamento da estrutura base existente no Laboratório de Volumes do Laboratório Central de Metrologia do IPQ destinado à calibração de contadores de gás.

Além das peças a executar são igualmente requeridas as ligações de tubagem e o fornecimento dos respectivos acessórios de ligação e controlo (válvulas e ramais para ligação de sondas).

A montagem final do sistema deverá ser executada nas instalações do IPQ.

Condições de trabalho ou de armazenamento dos componentes discriminados.

a) Condições ambiente:

No limite +10 °C a +40 °C e humidade relativa de 30 a 90 %

(Temp./Humid. Ambiente interior);

b) Condições de trabalho:

+20 °C a +30 °C e humidade relativa de 45 a 85 % (Controlada);

c) Alguns dos componentes estarão em contacto com óleo mineral.

As peças serão sempre fabricadas em aço inoxidável de tipo AISI 304, a não ser mencionado em contrário.

Pretende-se igualmente proposta para o fabrico das peças necessárias em aço do tipo AISI 316.

Nos sistemas de guiamento (colunas e interior do depósito) e Campânula as tolerâncias, acabamentos e revestimentos a aplicar deverão permitir o escorregamento uniforme e livre (respectivamente), ficando o método e a escolha dependente do objectivo e do seu custo relativo. Tendo em atenção que no interior do depósito de óleo, as exigências são menores uma vez que o meio em si facilita o escorregamento.

Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 1 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		





# CADERNO DE ENCARGOS

## PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

### DESCRIPTIVO

#### 1. Lista de Peças

##### 1.1. Campânula

1.1.1. Bases de apoio de guiamento superior (#3 soldadas)

1.1.2. Base Central de Suspensão (soldada)

##### 1.2. Acessório de guiamento superior (#3 com fixação aparafusada à Campânula)

1.2.1. Suporte central

1.2.2. Suporte lateral

1.2.3. Roda côncava de guiamento superior (#3 em PTFE Teflon ou outro fluoropolímero de baixa fricção)

1.2.4. Rolamento FAG ou equivalente (#6 FAG 607-2RS para fixação por aperto nas rodas inferiores e superiores)

1.2.5. Veio para rodas (#3)

##### 1.3. Acessório de guiamento inferior (#3 com fixação aparafusada à Campânula)

1.3.1. Suporte

1.3.2. Roda convexa de guiamento inferior (#3 em PTFE Teflon ou outro fluoropolímero de baixa fricção)

1.3.3. Rolamento da marca FAG ou equivalente (#6 FAG 607-2RS para fixação por aperto nas rodas inferiores)

1.3.4. Veio para rodas (#3)

desenho nº 1 e nº8

desenho nº 2

desenho nº 3

desenho nº 16

desenho nº 6

desenho nº 5

desenho nº 4

desenho nº 12

desenho nº 17

desenho nº 7

desenho nº 10

desenho nº 12

Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 <b>FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 2 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		







# CADERNO DE ENCARGOS

## PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

- 1.4. Contra-Peso (Alumínio)
- 1.5. Depósito Contra-Peso (3 ½" pipe, 0,120" espessura, 4,973 lb/ft), com ligação em tubagem ¾" com válvula a Gasómetro.
- 1.6. Cinta para fixação de depósito Contra-Peso (#2, sua forma depende da solução adoptada para o depósito do Contra-Peso) e respectivos acessórios de aperto (aparafusado)
- 1.7. Peça de fixação de *encoder* ao suporte superior do Gasómetro
- 1.8. Espiral compensadora de impulsão

desenho nº 12

desenho nº 13

desenho nº 11

desenho nº 14

desenho nº 20

## 2. Outros Trabalhos

- 2.1. Acabamento nas guias de suporte/guiamento existentes (estas deverão ser decapadas e preparadas para sofrer acabamento em *epoxy*, PVD ou outro tipo de aplicações auto lubrificantes como por exemplo com micro polímeros, revestimento de Teflon).
- 2.2. Acabamento na superfície interior do Gasómetro (para guiamento inferior da Campânula).
- 2.3. Alteração de tubagem de escape do interior do Gasómetro (para ¾"x 1 150 mm).
- 2.4. Furação no suporte superior do gasómetro, para fixação de suporte de *encoder*.

desenho nº 19

desenho nº 18

desenho nº 18

desenho nº 9

## 3. Tubagem

- 3.1. Válvula manual 3 vias ¾" (saída gasómetro), opção de electroválvula com accionamento manual.

Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 <b>FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 3 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		





# CADERNO DE ENCARGOS

## PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

- 3.2. Tubagem da marca *Heliflex* ou equivalente (3 m flexível) com adaptadores para  $\frac{3}{4}$ " em ambos os extremos.
- 3.3. Tubo  $\frac{3}{4}$ " com aplicação de #2 roscas interiores G1/2" para aplicação de sondas junto a contador.
- 3.4. Válvula multivolta para controlo de fluxo.
- 3.5. Adaptadores para diferentes tipos de ligação a contadores.
- 3.6. Válvula de segurança  $\frac{3}{4}$ " (1/4 de volta)

### 4. Considerações

#### 4.1. Soldadura

##### 4.1.1. Forma

4.1.1.1. Na execução estas deverão ter em atenção a deformações térmicas em especial na zona cilíndrica da Campânula.

4.1.1.2. Preferencialmente deverão ser executadas à máquina.

##### 4.1.2. Acabamento


4.1.2.1. O cordão deverá ter um acabamento, que o uniformize em especial na zona cilíndrica da Campânula e sobretudo no seu interior, evitando a todo o custo perfurações, aberturas ou saliências na mesma.

4.1.2.2. Se necessário para garantir o acabamento uniforme no seu interior, poderá ser aplicado qualquer tipo de betume ou *epoxy*.

##### 4.1.3. Verificação

desenho nº 1 ver tolerância (cilindricidade)

desenho nº 13 ver acabamentos

Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 <b>FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 4 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		





# CADERNO DE ENCARGOS

## PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

4.1.3.1. Não é estritamente necessário a verificação por radiografia ou outra, devendo ser garantida a estanquicidade da Campânula e o conhecimento da sua forma interior relativamente ao seu eixo.

### 4.2. Acabamento

4.2.1. Mecânico ou por película (*epoxi*, PVD, etc.), na zona cilíndrica da Campânula e/ou superfície interior do Gasómetro.

4.2.2. Pintura ou aplicação de outro tipo de isolamento no Contra-Peso, para evitar qualquer tipo de corrosão galvânica entre o Contra-Peso (em alumínio) e o seu depósito (em aço). Esta aplicação deverá ser compatível com óleo mineral.

### 4.3. Tolerâncias

4.3.1. Especificadas nos desenhos

### 4.4. Verificação de forma da Campânula

4.4.1. Esta forma deverá ser conhecida, tratando-se do factor primordial da construção. Se possível a metodologia de verificação deverá ser rastreável. Quer esta seja executada por laser ou por transdutor aplicado a torno mecânico ou outro.

4.5. Espiral: fixação aos aros das rodas


desenho nº 1 ver acabamento

desenho nº 12 ver acabamento

Independentemente das tolerâncias especificadas no desenho nº1, ou seja caso não seja possível a obtenção da sua forma com suficiente exactidão, a cilindridade no caso da Campânula terá de ser 1 mm ou melhor

## 5. Montagem

5.1. Nas instalações do IPQ

Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 <b>FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 5 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		





# CADERNO DE ENCARGOS

## PROJECTO GASÓMETRO CONSTRUÇÃO MECÂNICA

### Outras

- 5.2. Peça de suporte da Campânula (*Shuckle*)
- 5.3. Peça de fixação de Contra-Peso ajustável (*TurnBuckle*)
- 5.4. Peça de fixação no Contra-Peso (Parafuso tipo terminal)
- 5.5. Verificação de forma da Campânula
- 5.6. Peça de fixação de terminal de *encoder* à base central de suspensão da Campânula (Parafuso tipo terminal)
- 5.7. Cabo de aço inoxidável 2,5 mm de diâmetro (aproximadamente 4 m) e respectivos acessórios terminais

### 6. Opção Extensão

- 6.1. Fabricação de flange estendida substituindo a existente (com colunas 3/4", espessura mínima 0,154")
- 6.2. Comprimento estendido da Campânula
- 6.3. Comprimento estendido do Contra-Peso
- 6.4. Comprimento estendido do Depósito Contra-Peso
- 6.5. Respectiva alteração de comprimento de cabo de aço (para aproximadamente 6 m)

existente no mercado  
existente no mercado  
relação ao ponto 4.4.1  
existente no mercado

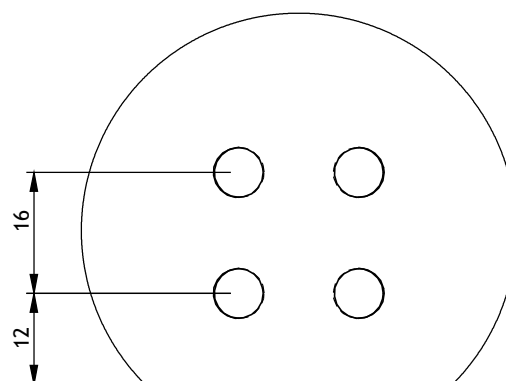
desenho nº15

desenho nº1 (EXTENSÃO 1410)  
desenho nº12 (EXTENSÃO 1400)  
desenho nº13 (EXTENSÃO 1450)

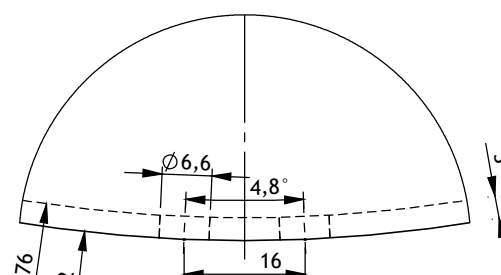
Fernando Manuel Esteves		CADERNO DE ENCARGOS_08.doc 13/11/2010 - 8:16:01 PM	 <b>FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</b> UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA	Página 6 de 6
Elaborado	Verificado	Data		
		10/12/2007 v1.0		







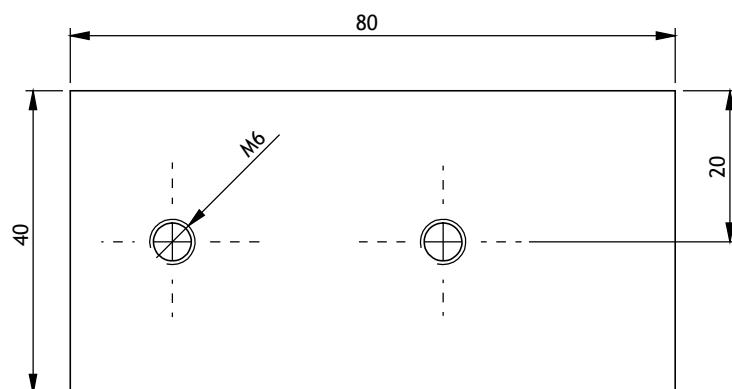
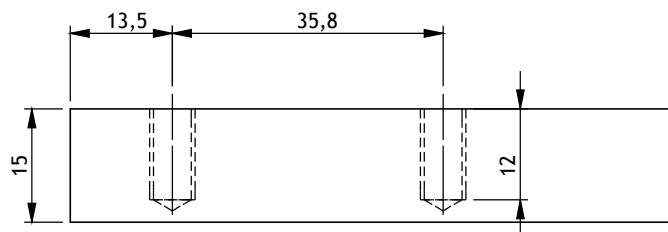
Pormenor A  
Escala 1 : 1



Pormenor B  
Escala 1 : 1

Desenhado		<p align="center"><b>I.P.Q.</b>  <b>Instituto Português da</b>  <b>Qualidade</b></p>	<p align="center">Departamento de Engenharia  Mecânica e Industrial  Faculdade de Ciências  e Tecnologia - U.N.L.</p>						
Copiado			<p align="center"><b>Fernando Manuel Esteves</b></p>						
Verificado									
Visto									
Escalas	<p align="center"><b>Campânula</b></p>		<p align="center"><b>Nº 1</b></p>						
1:10									
1:1									
Tolerancia									
NP-265									
Fino									



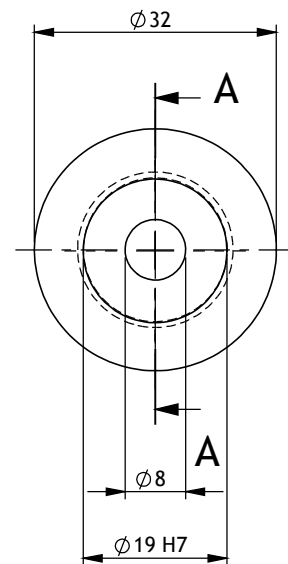
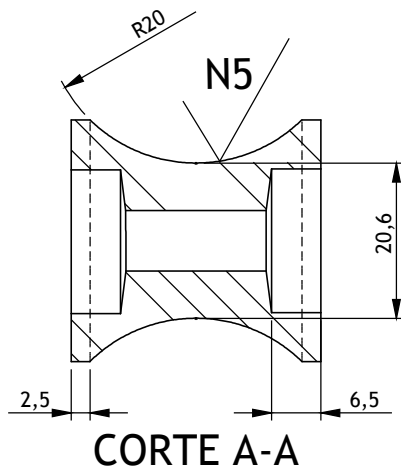
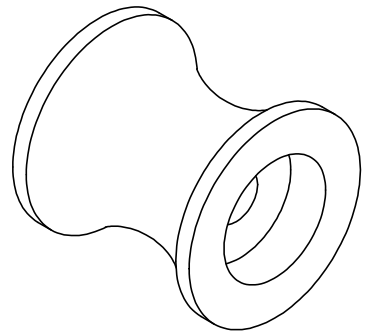


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado				Fernando Manuel Esteves						
Verificado										
Visto										
Escalas 1:1	Base Apoio Superior			Nº 2						
Tolerancia										
NP-265 Médio										



Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.											
Copiado				Fernando Manuel Esteves											
Verificado															
Visto															
Escalas	1:2.5 1:1			Base Central Suspensão			Nº 3								
Tolerancia															
NP-265 Fino															

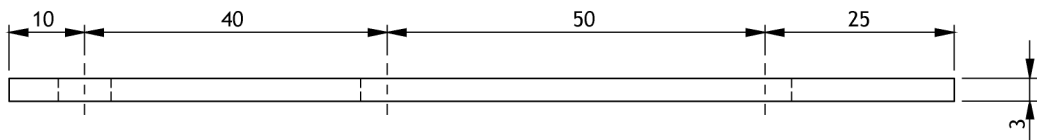
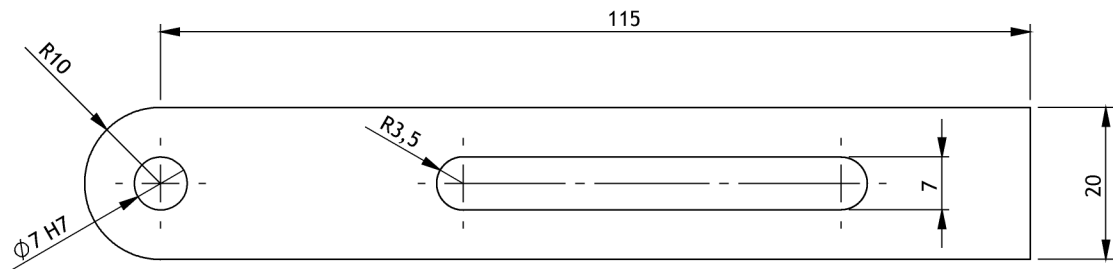
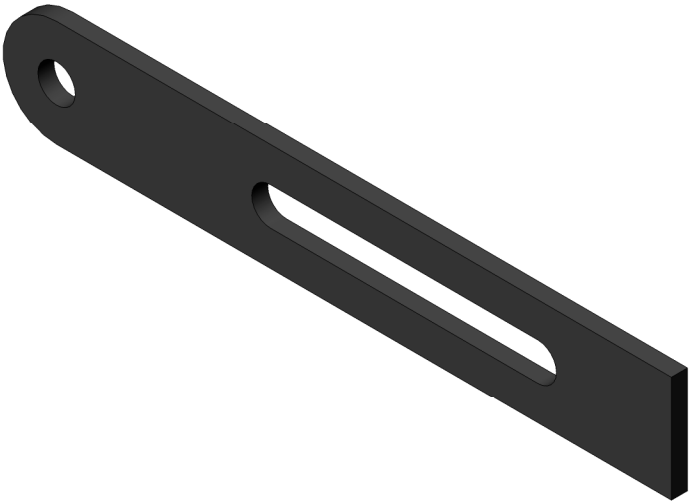




Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:1	Roda Superior			Nº 4						
Tolerancia										

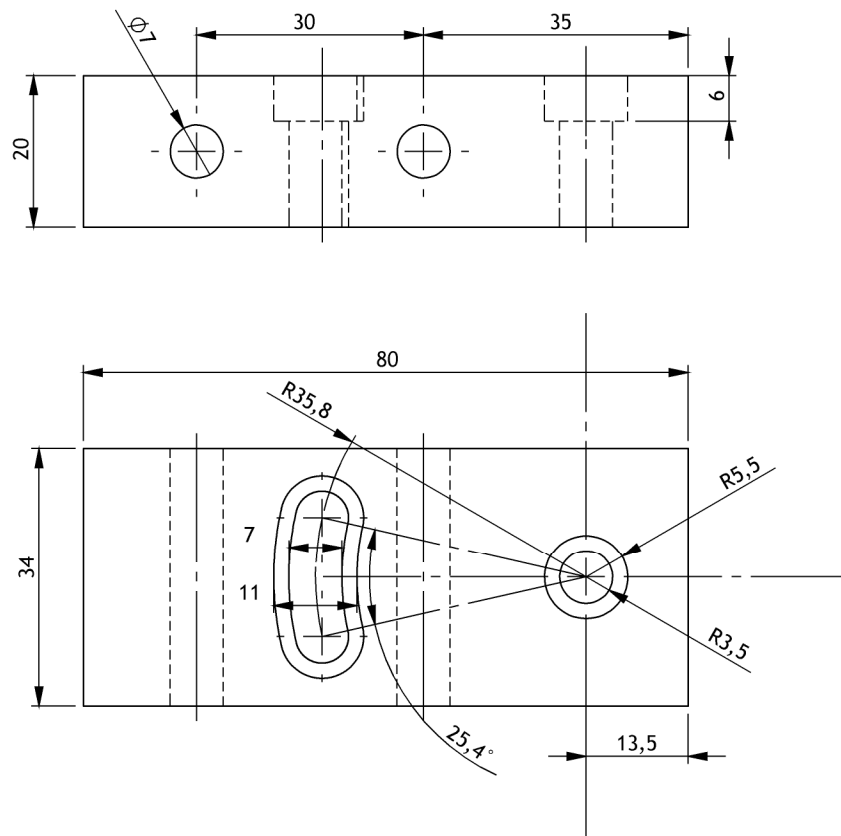






Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.					
Copiado									
Verificado									
Visto				Fernando Manuel Esteves					
Escalas 1:1	Suporte Lateral Rolo Superior			Nº 5					
Tolerancia									
NP-265 Fino									



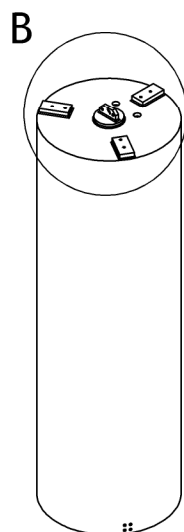
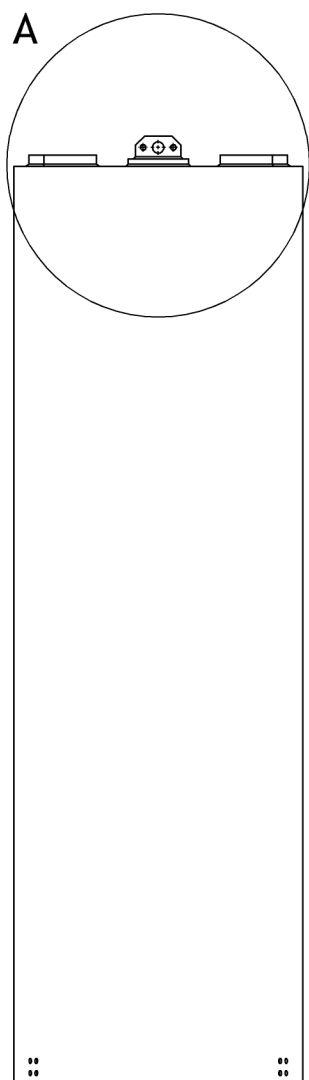


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado				Fernando Manuel Esteves						
Verificado										
Visto										
Escalas 1:1	Suporte Central Rolo Superior			Nº 6						
Tolerancia NP-265 Fino										

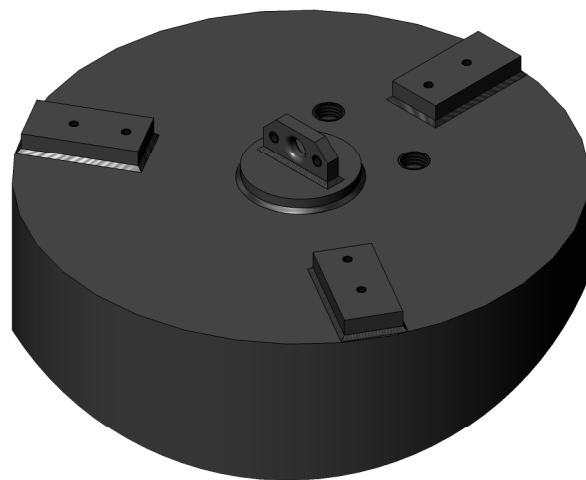




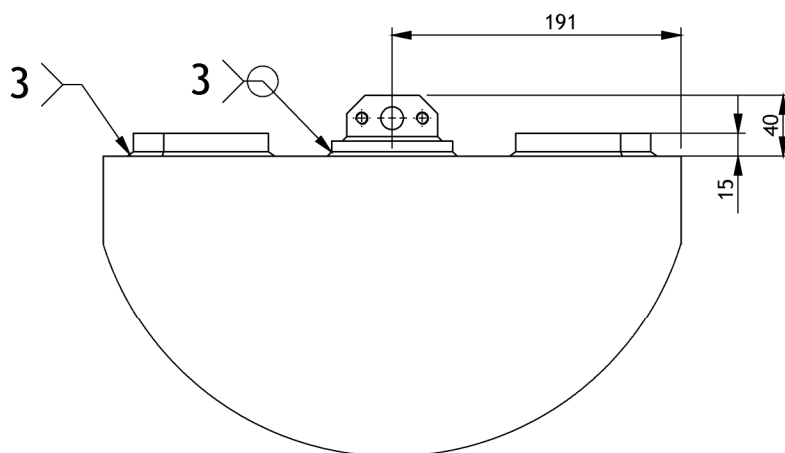




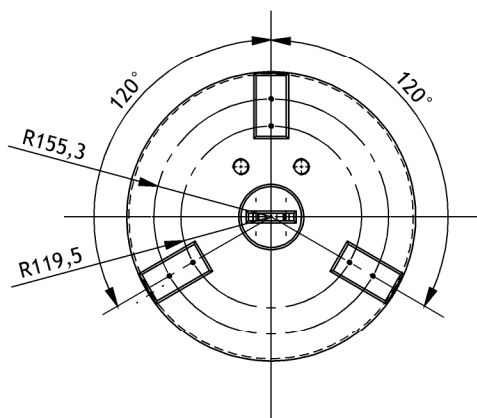
Escala 1 : 20



Pormenor B  
Escala 1 : 5



Pormenor A  
Escala 1 : 5

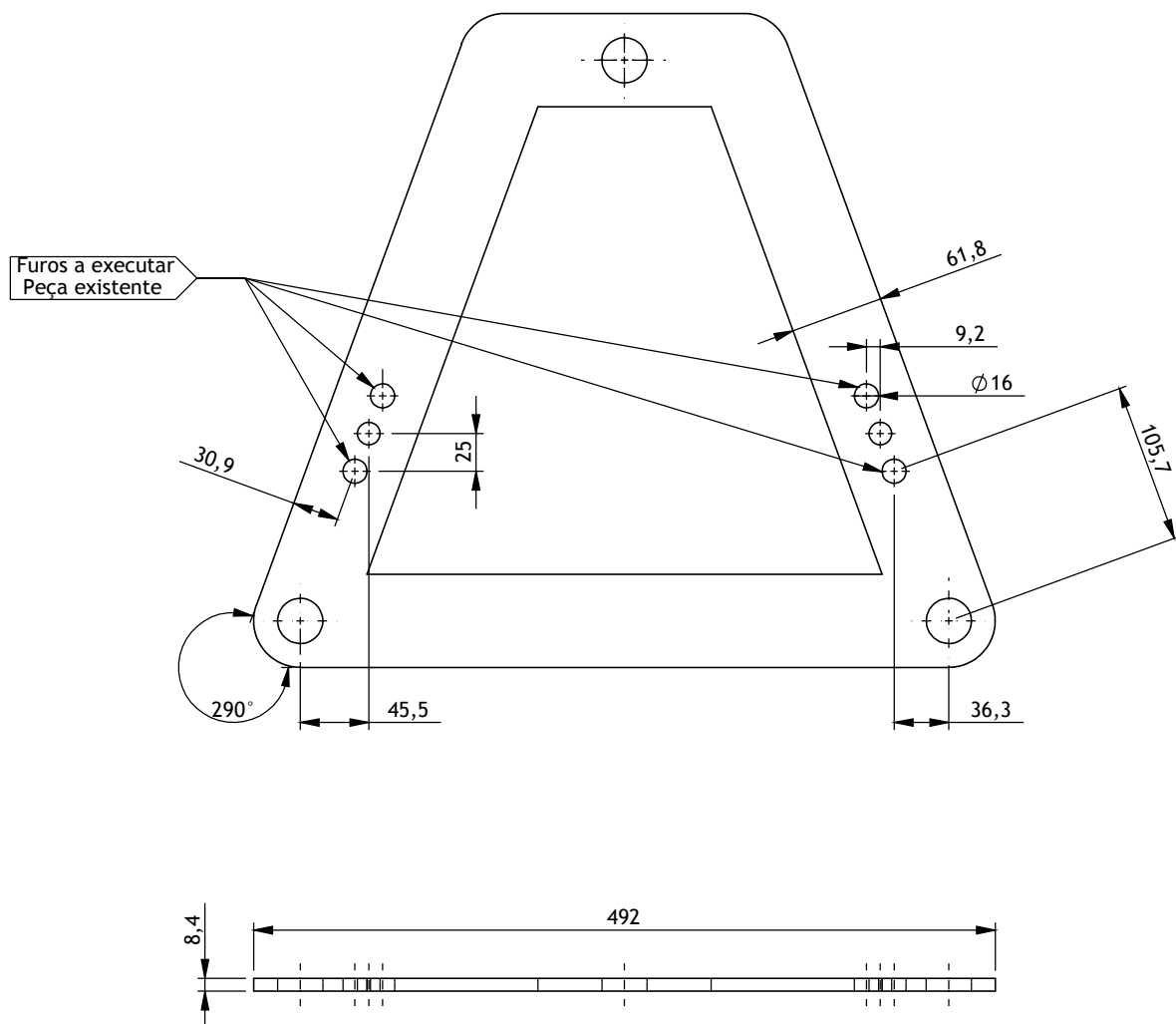


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.					
Copiado									
Verificado									
Visto				Fernando Manuel Esteves					
Escalas	Campânula com acessórios soldados			Nº 8					
1:10									
1:5									
1:20									
Tolerancia									

Nº 8

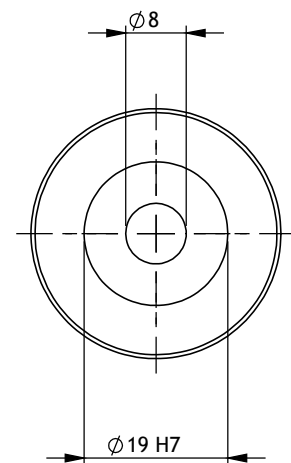
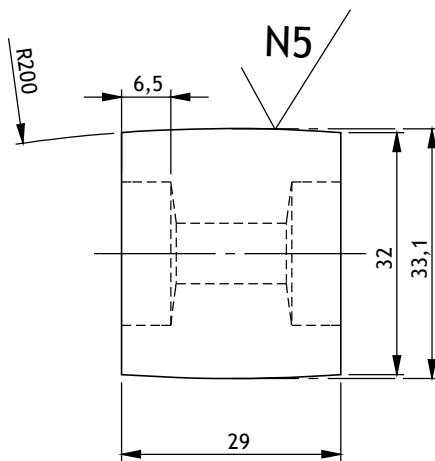
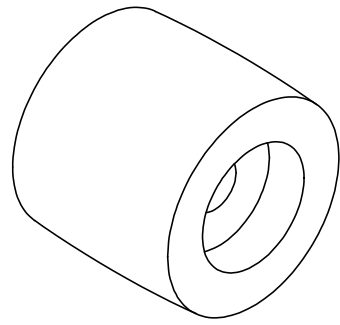






Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:5	Base Suporte Superior			Nº 9						
Tolerancia										
NP-265 Médio										



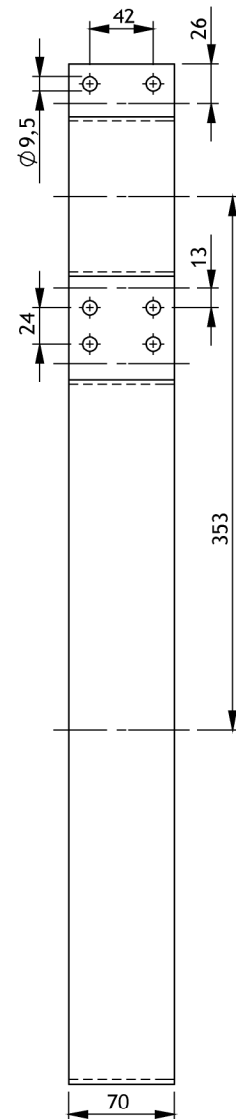
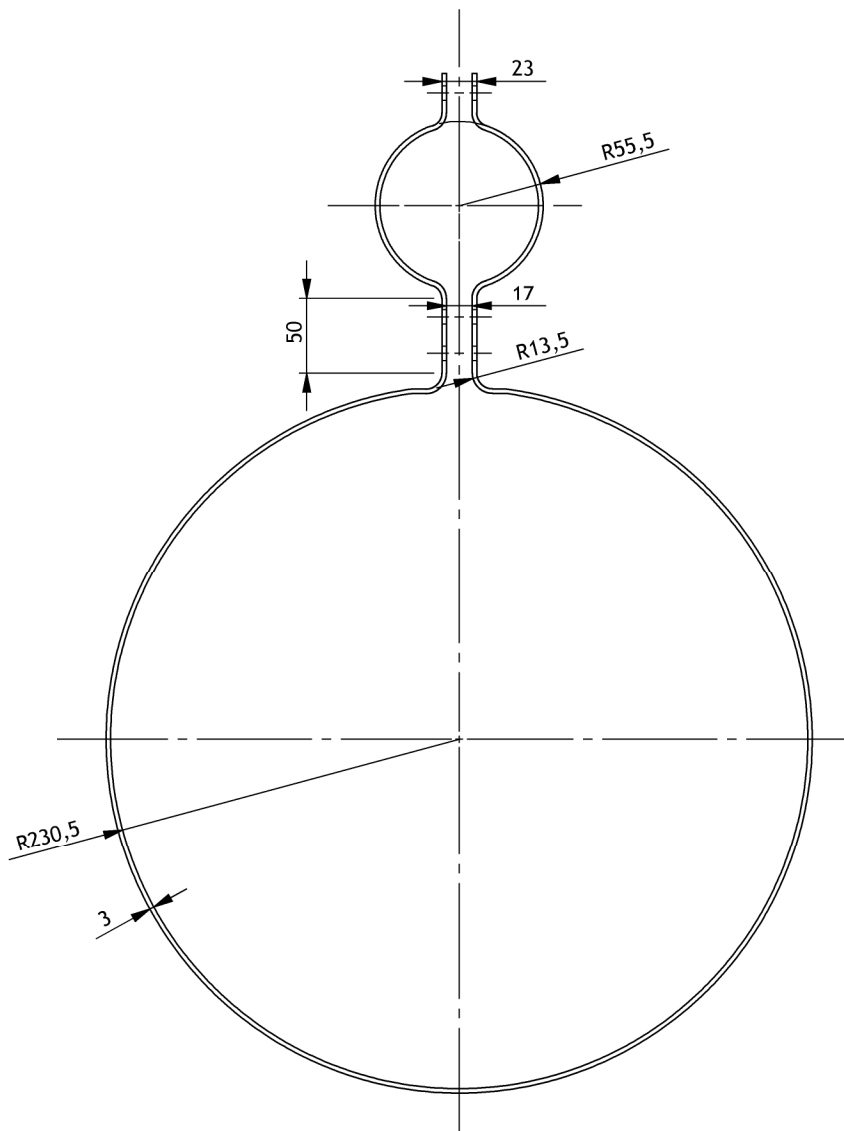


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:1	Roda Inferior			Nº 10						
Tolerancia										





Escala 1:10



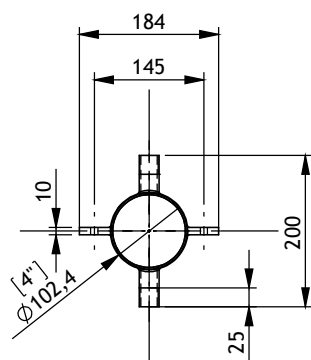
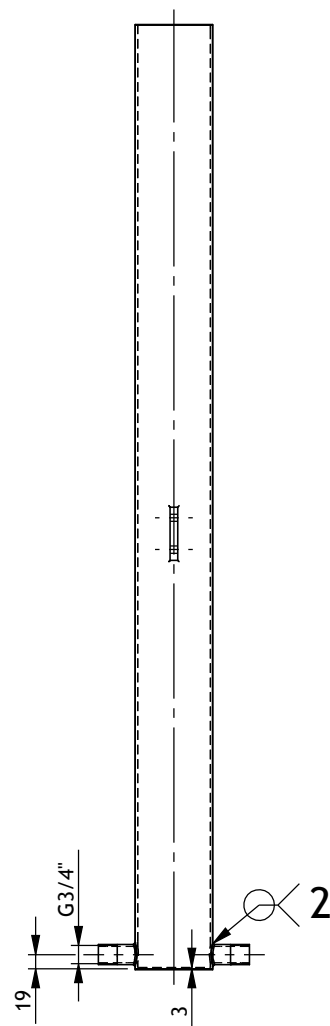
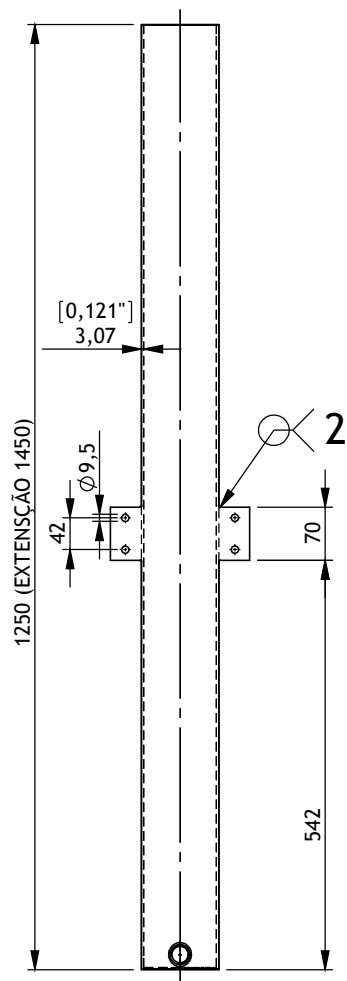
Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas	Cinta			Nº 11						
1:5										
1:10										
Tolerancia										
NP-265 Médio										





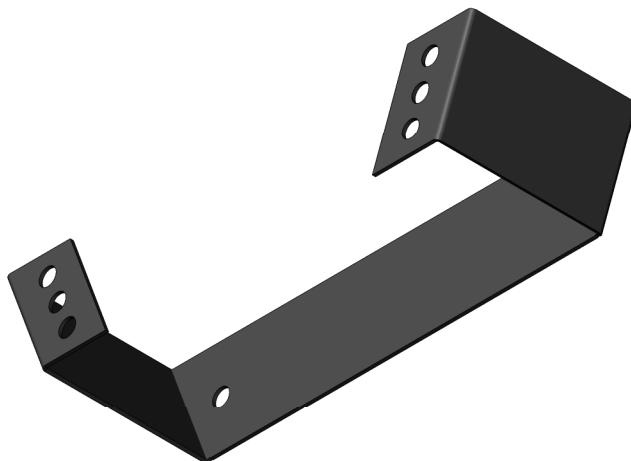
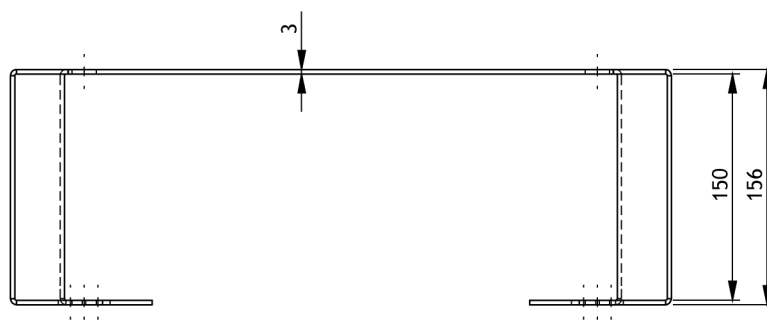
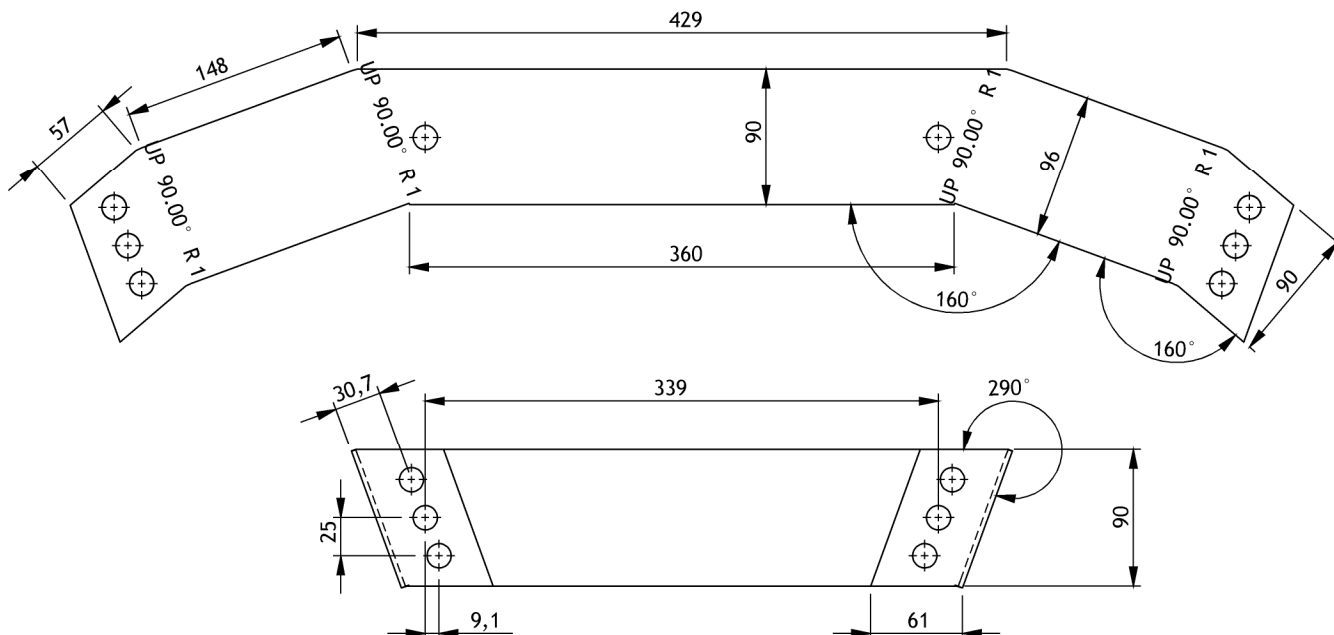






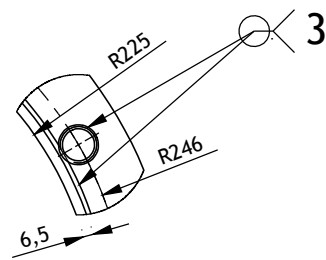
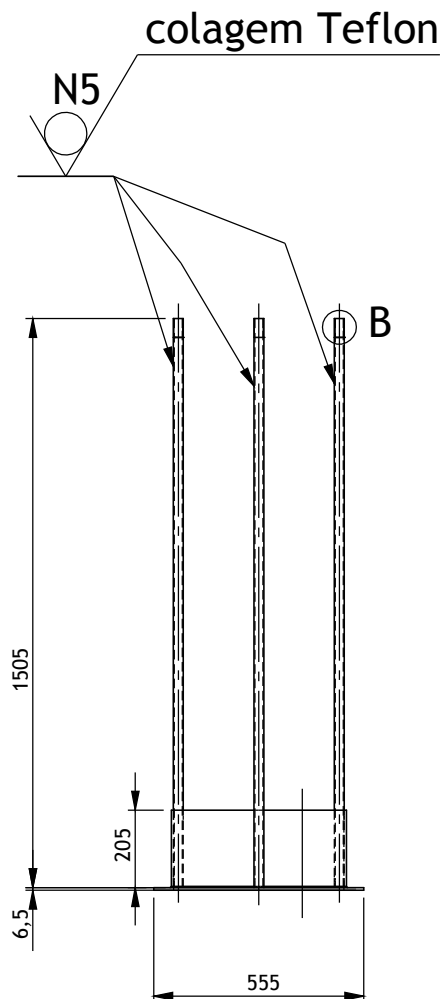
Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:10	Depósito Contra-Imersão			Nº 13						
Tolerancia NP-265 Fino										



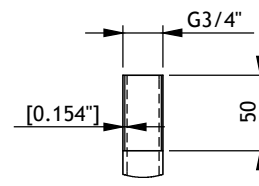


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:5	Suporte Encoder			Nº 14						
Tolerancia										
NP-265 Fino										

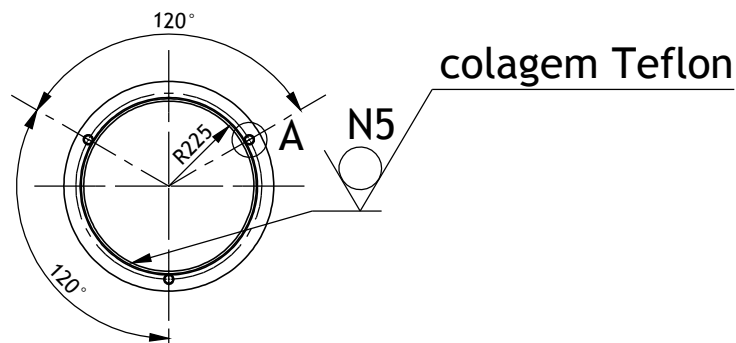




Pormenor A  
Escala 1 : 5



Pormenor B  
Escala 1 : 5

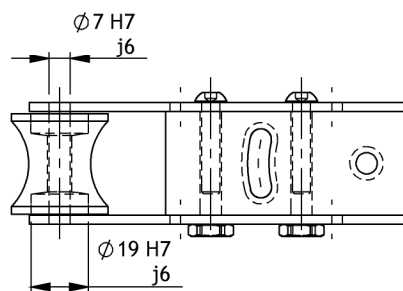
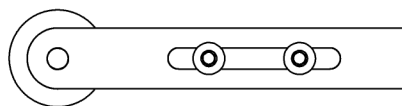


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas	EXTENSÃO Flange Gasómetro			Nº 15						
1:20										
1:5										
Tolerancia										





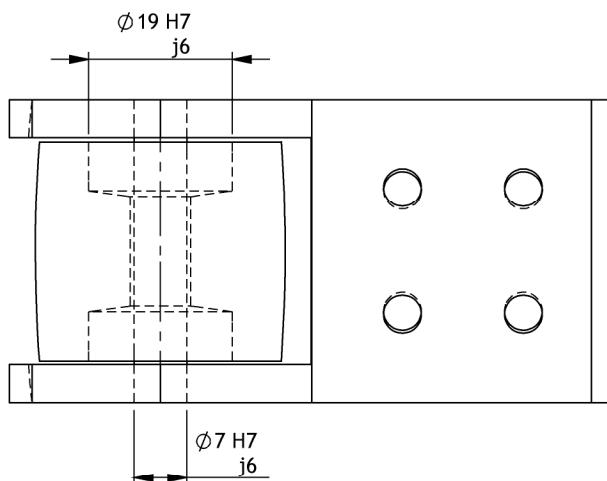
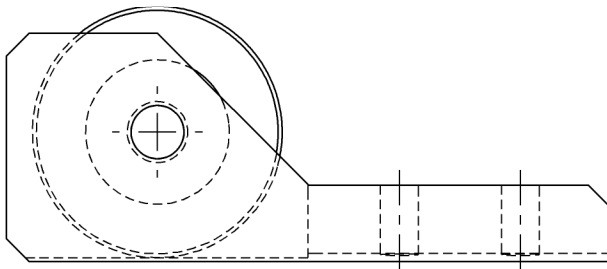
Escala 1:1



Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas	Guia Superior			Nº16						
1:2.5										
1:1										
Tolerancia										

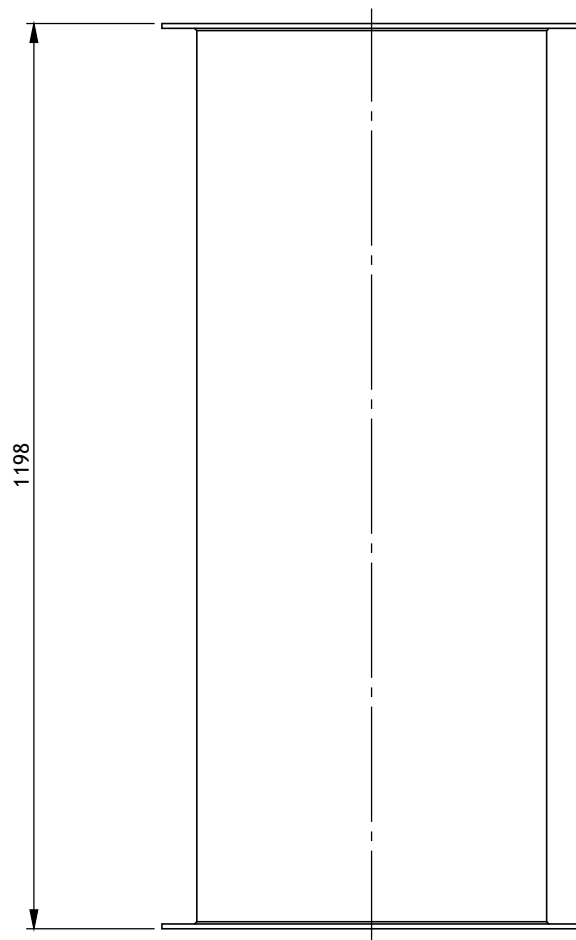
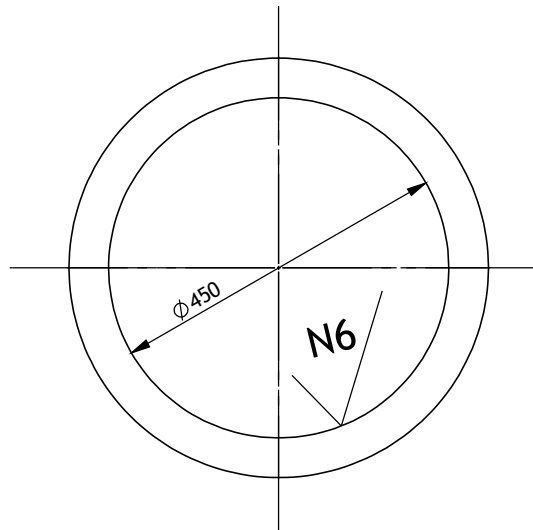






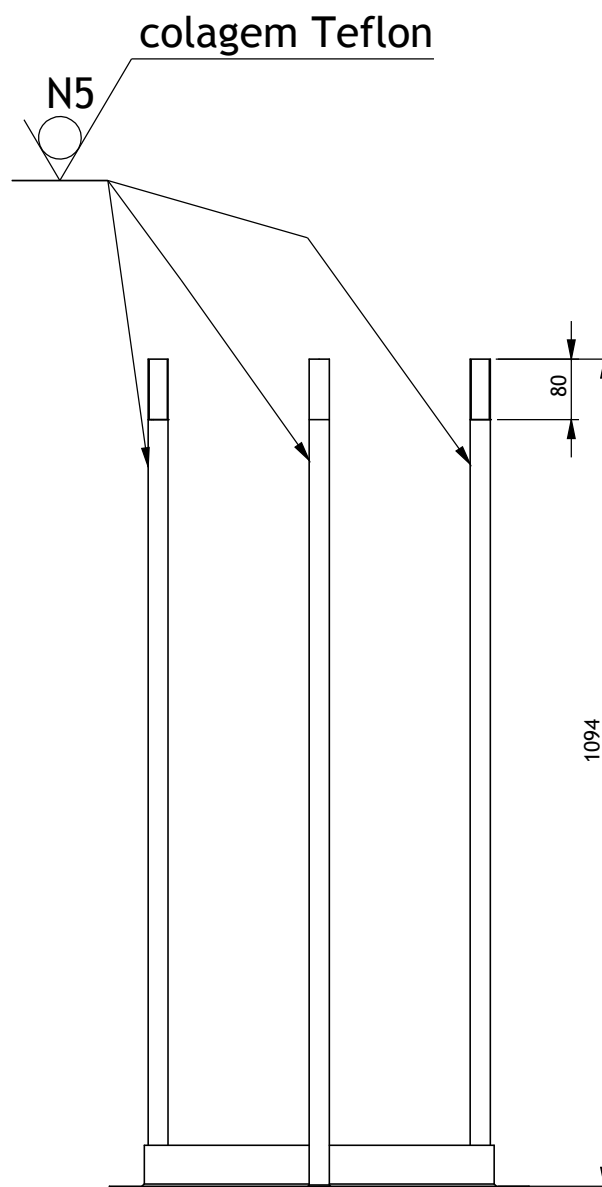
Desenhado		<p>I.P.Q.</p> <p>Instituto Português da</p> <p>Qualidade</p>	<p>Departamento de Engenharia</p> <p>Mecânica e Industrial</p> <p>Faculdade de Ciências</p> <p>e Tecnologia - U.N.L.</p>						
Copiado			<p>Fernando Manuel Esteves</p>						
Verificado									
Visto									
Escalas	<p>1:1</p>	<p>Guia</p> <p>Inferior</p>	<p>Nº17</p>						
Tolerancia									





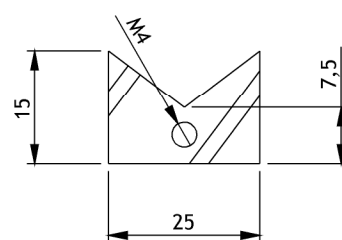
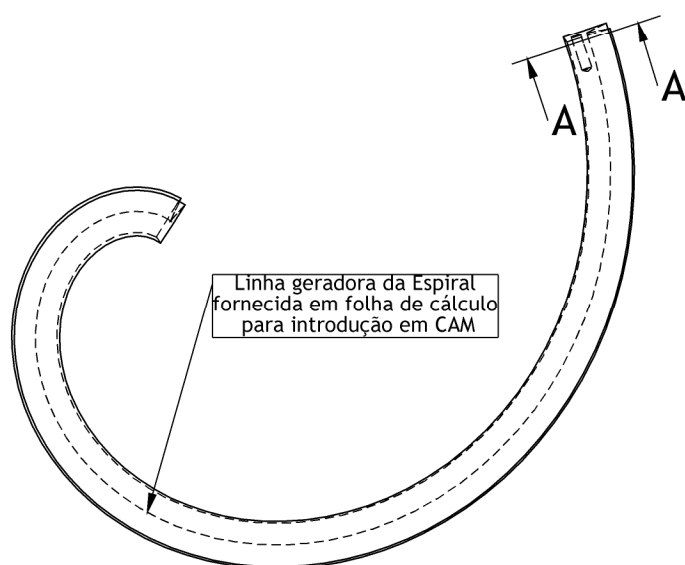
Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:10	Base Gasómetro (existente)			Nº18						
Tolerancia										



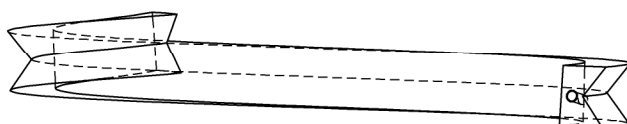


Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas 1:10	Flange (existente)			Nº 19						
Tolerancia										





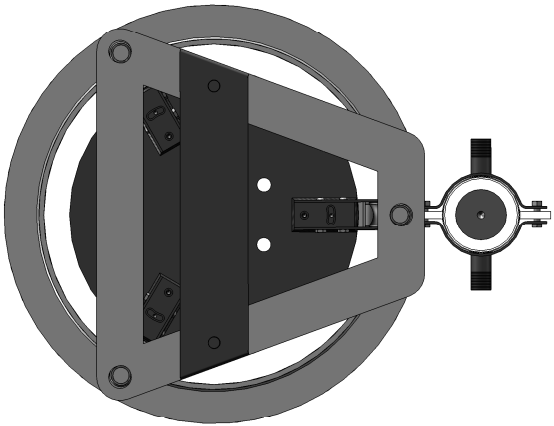
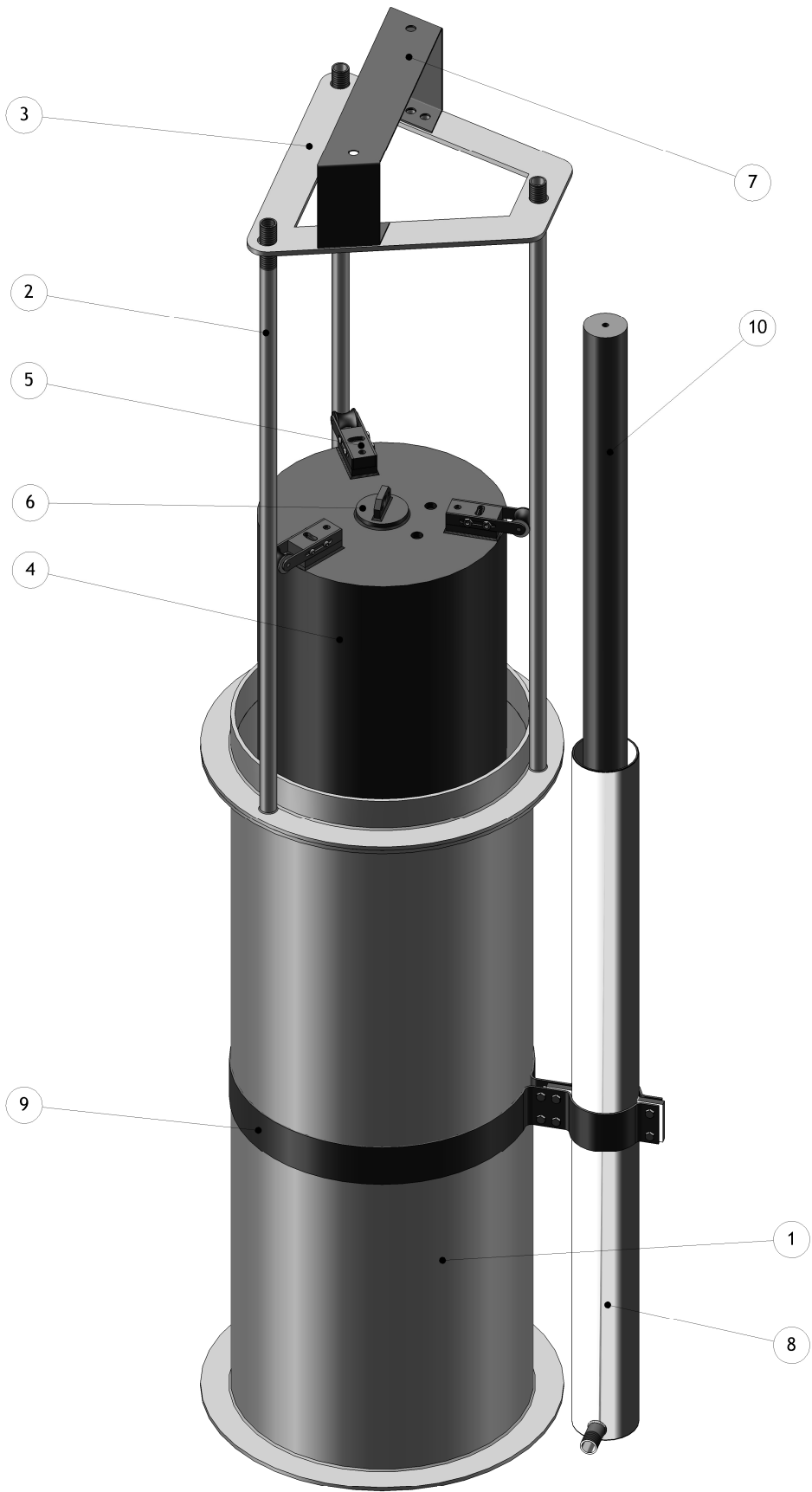
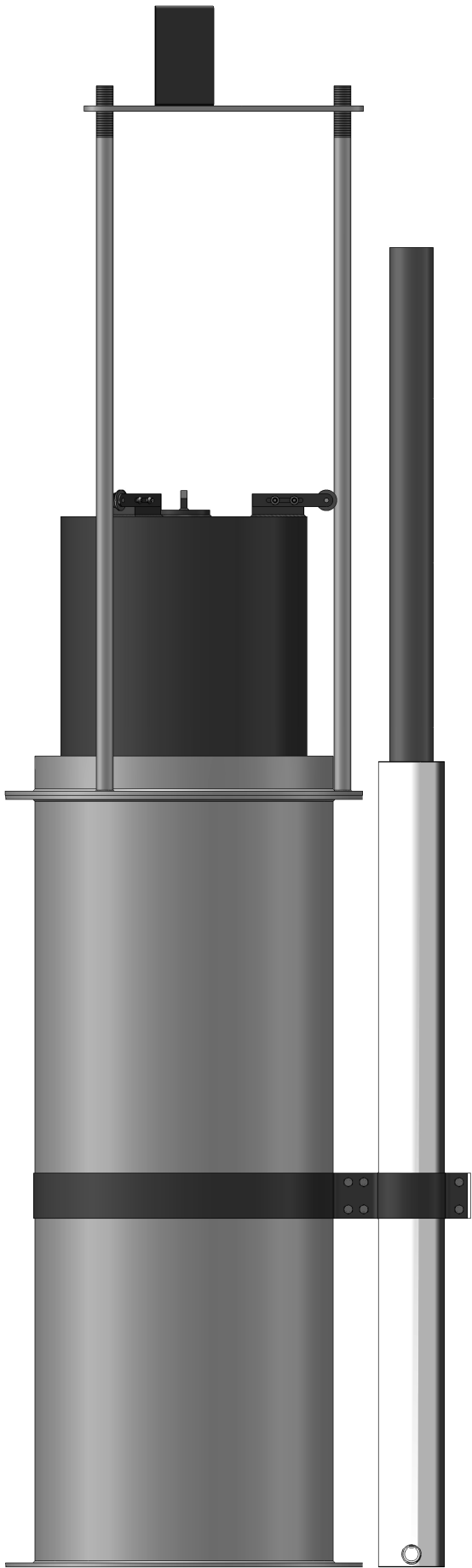
**CORTE A-A**  
**Escala 1:1**



Desenhado			I.P.Q. Instituto Português da Qualidade	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.						
Copiado										
Verificado										
Visto				Fernando Manuel Esteves						
Escalas	Espiral			Nº 20						
1:2.5 1:1										
Tolerancia										
NP-265 Fino										







Nº	Designação	Material	Desenho	Qt.
1	Base Gasómetro (Existente - Acabamento)	ST 37	18	1
2	Flange com Colunas (Existente - Acabamento)	ST 37	19	1
3	Suporte Superior (Existente - Acabamento)	ST 37	9	1
4	Campânula	AISI 304	1, 8	1
5	Guia Superior	AISI 304	16	3
6	Suporte Central (Soldado)	AISI 304	3	1
7	Suporte Encoder			6
8	Cinta	AISI 304	11	1
9	Contra-Peso	Alumínio	12	1
10	Hexagon Nut ISO 8673 - M8 x 1.0 - W - N			6
Copiado			Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial Faculdade de Ciências e Tecnologia - U.N.L.	
Verificado				
Visto				
Escala 1:10	<div><div>I.P.Q.</div><div>Instituto Português da Qualidade</div></div> <div>GASÓMETRO</div>		Fernando Manuel Esteves	
Tolerancia			Nº 21	